Eso NO ESTABA
en mi LIBRO *de la*
EXPLORACIÓN
ESPACIAL
por
PEDRO LEÓN
Desde los albores de la astronáutica y
los sueños de la ciencia ficción hasta los
confines de nuestro sistema solar.
GUADALMAZÁN

Pedro León

Eso no estaba en mi libro de la exploración espacial

© Pedro A. León Guerrero, 2021
© Talenbook, s.l., 2021

Reservados todos los derechos. «No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea mecánico, electrónico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.»
Guadalmazán • Colección Divulgación científica

Guadalmazán • Colección Divulgación científica
Director editorial: Antonio Cuesta
Edición de Óscar Córdoba
Ebook: R. Joaquín Jiménez R.

www.editorialguadalmazan.com
pedidos@almuzaralibros.com
info@almuzaralibros.com

ISBN: 978-84-17547-93-6

Hecho en España - *Made in Spain*

A mi hijo Pedro, el centro de mi sistema solar.
A mi mujer y amiga Mari, la estrella que me guía.

Introducción

¡Hola! Lo primero de todo darte las gracias por tener este libro entre tus manos. Como te habrás dado cuenta, es un libro del espacio. Y el espacio provoca mucha curiosidad en las personas. Si algo he aprendido en todos los años que llevo dedicado a la divulgación espacial, es que la curiosidad por los temas espaciales es enorme. Cuando alguna persona de mi entorno ve en televisión o Internet alguna noticia relacionada con el espacio, le llama poderosamente la atención y le suele provocar asombro. Pero también le surgen muchas dudas pensando que es un mundo extraño, difícil de comprender y pierde parte del interés. Uno de los principales objetivos de este libro es demostrar que el espacio es asequible para todo el mundo y que no tienes que ser un entendido en la materia para comprender las noticias que cada día nos descubren un poco más el sistema solar. Además, tampoco es un mundo lejano para científicos, sino que sus efectos los puedes notar en el día a día que te rodea. El espacio está en tu vida aunque no lo veas.

La astronáutica es un mundo complejo y de alta tecnología forjado sobre la ingeniería, la química, la física, las ciencias de los materiales y las matemáticas. Sin embargo, los conceptos básicos para poder seguir de cerca sus descubrimientos y toda la investigación espacial son algo que están al alcance de cualquier persona que se encuentre interesada en el tema. De hecho, la mayoría de las veces no es necesario entrar en detalles demasiado técnicos o científicos, tan solo hay que tener preparadas dos cosas: la curiosidad y la capacidad de asombrarse cada día. Párate a pensar un momento las cosas que en la actualidad dependen del espacio directamente, sin hablar de los avances científicos y tecnológicos que consiguen. Dando un paseo por la calle ves un montón de antenas parabólicas apuntando al cielo, recibiendo la televisión por satélite. Cuando vas andando o conduciendo miras tu móvil y pones el mapa con GPS

que te indica dónde estás o cómo llegar a tu destino. Cuando pones la televisión y aparece la predicción meteorológica, se ha obtenido con satélites. O cuando ves tu deporte o serie favorita, la imagen está llegando a ti por medio de algunos satélites, aunque lo veas por un canal de cable o TDT. Y todas estas cosas sin contar las comunicaciones por teléfono o Internet en zonas rurales, los alimentos que consumes sembrados y cosechados con maquinaria guiada por satélite, los avisos de desastres naturales, los sistemas de información geográfica agrícolas o del catastro, etc. Una enorme lista de servicios que no para de crecer con aplicaciones para los ciudadanos, las empresas y los servicios públicos. Nos demos cuenta o no, la astronáutica nos rodea en nuestro día a día y es importante comprenderla y valorarla.

Este no es un libro técnico para expertos, ni tampoco es un libro de historia de la astronáutica. Es un libro de divulgación espacial para todos los públicos. Si nunca has leído sobre estos temas, el libro te irá guiando paso a paso desde lo más básico, para que comprendas cómo funcionan las cosas allí arriba y te responderá a muchas de las preguntas más habituales. El libro se encuentra dividido en cuatro grandes secciones, dedicadas a las temáticas fundamentales de la astronáutica: cohetes, satélites, vuelos tripulados y sondas espaciales. Empezaremos desde abajo conociendo cómo funciona un cohete, sabremos si contamina mucho, cuánto valen y subiremos al espacio hasta situarnos en órbita. También veremos por qué flotan los astronautas, descubriremos muchas historias curiosas de los satélites, entenderemos los problemas de la basura espacial y sabremos si puede caernos un cohete chino en la cabeza. Más tarde acompañaremos a los astronautas en sus actividades más básicas en el día a día y conoceremos sus historias más sorprendentes y curiosas. Y terminaremos enviando sondas a otros planetas, aterrizando en Marte, conociendo los extraños cargamentos que llevan muchas de ellas y

donde termina toda nuestra aventura espacial. O tal vez sea donde empieza. Encontrarás historias curiosas, raras, divertidas, tristes, sorprendentes e inesperadas. Y todas ellas se irán mezclando con los conceptos espaciales más importantes, lo que te ayudará en la tarea de comprender el espacio que nos rodea. Todo eso lo haremos sin necesidad de usar fórmulas, sino con explicaciones (a veces algo simplificadas necesariamente, que me perdonen los más puristas) que puedan ser entendidas por cualquier persona que sienta curiosidad por el espacio, pero que nunca se haya atrevido a leer nada por considerarlo «demasiado complicado». Con este libro descubrirás que entender sus fundamentos es sencillo, y tan solo es necesario tener la curiosidad de un niño con muchas ganas de aprender y de sorprenderse. Y si eres ya una persona aficionada a la astronomía y el espacio, este libro te mostrará muchas historias y anécdotas poco conocidas, nos pararemos en detalles que a veces se pasan de largo, encontrarás tablas y datos que ayudan a comprender mejor muchos temas y descubrirás detalles curiosos de otras historias que ya conoces.

A nivel personal tengo que decir que este libro jamás habría sido posible sin el apoyo, la paciencia y las recomendaciones de Mari Cáceres, mi esposa y amiga, y de mi hijo Pedro, que espero que lo lea en cuanto aprenda a hacerlo. También quiero darle las gracias a mi madre Elisa, a mis hermanas Elisa y Nieves, a mi sobrino Pedro y a mi amigo José F. Durán, por sus comentarios. Y por supuesto no puedo olvidarme de mis amigos sonderos, que me han ayudado con sus ideas y recomendaciones: Jorge Hernández, Aitor Conde, Jacint Roger, Juanjo Gómez, Ángel Canas, José «Speck» Mota, Ramón García, David Mayo, Miguel Ángel Gómez, Sara Gil, Rubén Raya y Nahum Méndez. Y por último, quiero recordar a mi padre, que sé que estaría muy orgulloso de ver cumplido uno de los sueños de su hijo. Siempre te llevo conmigo.

Prepárate, que comienza la cuenta atrás. 10, 9,

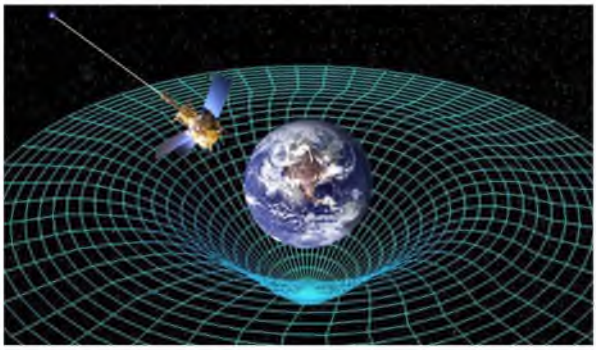
abróchate los cinturones, 7, cierra la visera de tu casco, 5, agárrate fuerte y sonríe a la cámara, 4, 3, 2, 1... ¡Despegamos!

PARTE UNO

Capítulo 1

La dictadura de la gravedad

Dejemos una cosa clara desde el principio: si nos queremos dedicar a enviar cosas al espacio, la gravedad es un gran fastidio. Que sí, que si no fuera por ella tendríamos algunos pequeños inconvenientes, como que se nos despegarían los pies del suelo y saldríamos volando hacia el espacio, que no tendríamos planetas, ni estrellas, ni galaxias y nada se habría formado en el universo. Pequeños detalles. De hecho, sin gravedad el universo no podría haber creado ni los elementos químicos que forman la tabla periódica, ya que son producidos en el corazón de las estrellas. Así pues, todo el universo sería por completo una enorme sopa de hidrógeno y helio, junto con un conglomerado de partículas subatómicas y Jordi Hurtado presentando concursos. Así que sin gravedad no existiría nada, pero eso son pequeños detalles en comparación con la molestia que produce cuando hablamos de la astronáutica y de nuestra noble intención de enviar cosas al espacio. Porque la gravedad siempre provoca que los objetos se atraigan entre sí y, por tanto, nos cueste horrores enviar algo más allá de nuestra atmósfera. Por desgracia, todos los objetos que están en la superficie de nuestro planeta son atraídos con fuerza hacia el centro de la Tierra, y con eso tendremos que lidiar si queremos ser potencias espaciales.



La gravedad todo lo puede, actuando como un pozo al que todo cae, siendo todos los objetos atraídos hacia

un objeto masivo como puede ser un planeta, una estrella o un agujero negro. Imagen: NASA.

Si vamos al diccionario, veremos que define la gravedad como «la atracción universal de los cuerpos en razón de su masa», es decir, que mientras más masa tenga un objeto, más gravedad creará a su alrededor. Y eso, como podemos suponer, es un problemón para la astronáutica, que está empeñada en lanzar cosas hasta el espacio. Un nuevo repaso al diccionario nos define a la astronáutica como «la ciencia o técnica de navegar más allá de la atmósfera terrestre». Pues ya tenemos dos problemas, porque si no fueran ya pocos los creados por la dictadura de la gravedad para cumplir nuestros sueños espaciales, la atmósfera se suma a esta fiesta y nos lo pone más difícil todavía, ya que también tendremos que luchar contra ella. En esta primera parte del libro veremos cómo se pueden vencer estos dos inconvenientes y qué estrategias se usan para que podamos llevar toneladas de cacharrería hasta la órbita terrestre y más allá, mucho más allá. Porque todo lo que es necesario para comprender cómo funcionan las cosas en el espacio es una mezcla de física, ingeniería, química, ciencias de los materiales y matemáticas. Sin embargo, no te asustes todavía, porque es posible realizar una primera y gran aproximación a estos temas sin necesidad de meternos en complejidades y extrañas fórmulas. A lo largo de las siguientes páginas podremos comprender sin problema cómo funciona un cohete y un satélite. Cierto es que algunas cosas pueden parecer al principio algo raras o poco intuitivas, pero la mayoría se pueden entender sin mucho problema y sin necesidad de tirar de fórmulas y de matemáticas. Por tanto podemos introducirnos sin miedo en este mundo y sin usar fórmulas de momento, solo por el placer de aprender. Allá vamos, sígueme en este paseo que vamos a dar desde la superficie de nuestro querido planeta Tierra hasta los confines del sistema solar.

¿Dónde empieza el espacio?

Si vamos a hablar de viajar al espacio, deberemos tener claro dónde está y dónde comienza. Aclaremos que el límite del espacio no es un lugar concreto ni exacto, no es un sitio donde acaba una cosa o comienza otra y que podremos marcar con una línea. Si subimos hacia arriba veremos cómo nuestra atmósfera se va debilitando poco a poco. Las moléculas de aire cada vez están más separadas y por tanto cada vez es menos denso. En realidad nuestra atmósfera se extiende de manera detectable hasta una altura de varios miles de kilómetros sobre la superficie terrestre, aunque en la práctica todo el grueso de la atmósfera queda por debajo de los 20 kilómetros. Entonces, ¿dónde situamos el inicio del espacio? Como necesitamos convenciones y límites, la Federación Astronáutica Internacional (IAF), en los años cincuenta, adoptó la llamada línea de Kármán, propuesta por el ingeniero húngaro Theodore von Kármán, basándose en el siguiente razonamiento: cuando un avión se desplaza por el aire a alta velocidad, se sustenta en la atmósfera debido a la presión que las moléculas de aire ejercen sobre la parte inferior de las alas. Si subimos con el avión más hacia arriba, tendremos cada vez una densidad de aire menor y como resultado tendremos menos aire para sustentarnos, por lo que será necesaria más velocidad para conseguir que el aire nos siga manteniendo sin caer. El señor Von Kármán dedujo con sus cálculos que a 100 kilómetros de altura la densidad del aire es tan baja, que la velocidad necesaria para poder sustentarse con alas sería ya tan rápida que igualaría a la velocidad que tendríamos en la órbita terrestre como un satélite y, en consecuencia, ya no serían necesarias las alas. Por consiguiente ya estaríamos hablando de naves espaciales y no de aviones. Resumiendo, el espacio exterior comienza donde un avión necesitaría ir tan rápido para volar que ya sería prácticamente un satélite.

A partir de los 20 km de altura ya se empieza a distinguir la negrura del espacio. Si queremos decir que hemos estado en el espacio tendremos que seguir subiendo al menos hasta los 100 km de altura respecto al suelo. Imagen: NASA.

Al igual que muchos otros logros de la carrera espacial, la primera vez que la humanidad superó este límite fue con motivos militares, usando una variante del tristemente famoso cohete alemán V-2. Este cohete pionero fue desarrollado por el ingeniero Werner von Braun, que más tarde jugaría un papel fundamental en la llegada del hombre a la Luna por parte de la NASA. Aunque la línea de Kármán a 100 km de altura es la más aceptada internacionalmente, en los Estados Unidos también consideran que has llegado al espacio exterior al llegar a una altura de 80 km. Toda persona que sobrepase esa altura es considerada automáticamente un astronauta por parte del Departamento de Defensa de los EE. UU. y por la NASA, aunque sea realizando un corto vuelo parabólico de 15 minutos de subida hasta los 81 km y de vuelta a casa en unos minutos.

HASTA DÓNDE LLEGA...	ALT EN KM
El monte Everest	8,8
Los aviones de pasajeros	10-12
Los aviones militares	30
Las erupciones volcánicas masivas	50-80
Las nubes noctilucentes	75-85
Las alas de astronauta en EE. UU.	80

La entrada de meteoros	80-125
Ya eres astronauta, superas la línea de Kármán	100
Comienza la reentrada atmosférica de cápsulas tripuladas	125
Los satélites de órbitas muy bajas	200
La Estación Espacial Internacional (ISS)	390
Los satélites de observación terrestre	700-800
Los satélites geoestacionarios	36 000

Tabla con algunas alturas de referencia en la atmósfera terrestre. Tabla: elaboración propia.

En su cabeza sonaba fenomenal, señor Wan-Hu

Cuando hablamos de pioneros en la carrera espacial, nos olvidamos casi siempre de la fascinante historia del señor Wan-Hu, todo un visionario para la época en el buen y en el mal sentido de la palabra. Su historia es una de las primeras de las que tenemos constancia en la que el ser humano ha intentado burlarse de la gravedad para llegar al espacio, siendo finalmente el humano el que fue burlado por la gravedad. Todos sabemos que la cultura milenaria china ha usado cohetes desde hace más de 1000 años para la guerra y para la diversión de la gente, en todas sus celebraciones festivas y religiosas. Una de las primeras historias conocidas de una persona que hizo un intento «serio» por llegar al espacio nos remonta a la profunda China de la dinastía Ming, en el siglo XVI. El funcionario Wan Hu, tras ver una exhibición de fuegos artificiales en una fiesta local, se quedó pensativo y vio el enorme potencial que estos cohetes podrían tener para elevar objetos en el aire. A la mañana siguiente se levantó y pensó que era un buen momento para viajar al espacio, que se notaba sobradamente preparado para el reto y que tenía todas las ideas dando vueltas en su cabeza bajo su absoluto control. El razonamiento tuvo que ser algo similar a esto: si los cohetes se elevan en el aire a gran altura y además también tienen la capacidad para cruzar las lejanas colinas y explotar en territorio enemigo, no hay nada que me impida colocar muchos de ellos juntos en plan tocho y así tendrán la fuerza suficiente como para elevarme en el aire y ¡viajaré al espacio! Así que sin cortarse un pelo, decidió fabricar una gran silla de madera similar a un trono, le instaló dos grandes cometas para mantenerse flotando una vez en el aire y le ató 47 grandes cohetes pirotécnicos, que serían encendidos a la vez por sus 47 ayudantes para que pudiera viajar al espacio en un periquete.

El atrevido y valiente «trononauta» se sentó en la silla del tremendo artefacto vestido con sus mejores galas y sin una sola duda en su rostro. Instantes

después, y tras dar la orden a sus ayudantes, se prendieron las mechas simultáneamente, y tras unos segundos... se produjo una gigantesca explosión. Al estallido le siguió un incendio, y tras disiparse el humo se pudo comprobar que no había ni rastro de la silla, y por supuesto tampoco del señor Wan Hu, tan solo un enorme agujero humeante lleno de fragmentos, los cuales era mejor no mirar de cerca. Toda esta estrategia espacial en su cabeza sonaba fenomenal, pero su atrevida aventura acabó antes de ni siquiera empezar, así que ese fue el fin de la rocambolesca historia del primer intento conocido por llegar al espacio. Por si no fuera ya bastante humillante el resultado, los señores de la Unión Astronómica Internacional pensaron que era buena idea ponerle su nombre a un cráter de 52 km en la cara oculta de la Luna, una de las más finas ironías de la historia.

El señor Wan-Hu fue todo un valiente pionero en el espacio, aquí lo vemos saludando a los fans en el momento del encendido de sus cohetes. Godspeed

Wan-hu! Imagen: U.S. Civil Air Patrol.

Los viajes espaciales, la mejor forma de perder peso

Ya sabemos a qué altura podemos situar el espacio, por lo que antes de meternos en historias gravitacionales comencemos por unos conceptos físicos muy sencillos que nos permitirán comprender mejor el funcionamiento de los cohetes y los satélites. No te asustes, todo ello lo veremos sin usar fórmulas y con ejemplos lo más claros o parecidos posibles a la realidad, así como tirando de la intuición cuando sea necesario, y eso nos permitirá comprender cómo funcionan las cosas por ahí arriba. Por supuesto, entender estos conceptos no es algo necesario y obligatorio para poder disfrutar del resto de anécdotas e historias del libro, pero pienso que es importante comprender cómo funciona nuestro mundo y el espacio, así que si quieres puedes leerte esta sección o si lo prefieres puedes saltar directamente a la de los cohetes. ¡Vamos allá!

El comandante David Scott, del Apolo 15, deja caer un martillo y una pluma de halcón en el vacío lunar, llegando ambos objetos a la vez al suelo. En YouTube tienes disponible el vídeo completo para verlo en acción. Imagen: NASA.

Imaginemos un objeto espacial cualquiera, por

ejemplo, un botijo. Lo cogemos a pulso y comprobamos que tiene un cierto peso, digamos que unos 4 kg porque lo tenemos lleno de agua fresca. Y ahora imaginemos que se traslada mágicamente hasta la superficie de la Luna. Comprobamos que su peso ahora es mucho menor, ya que la báscula nos indica que su peso es de tan solo unos 600 gramos. ¿Se nos ha perdido agua por el camino? No, la razón, como imagináis, es que al ser la Luna más pequeña que la Tierra, «tira» con menos fuerza del botijo hacia abajo y por tanto su peso es menor. En cambio en Júpiter, si tuviéramos un suelo donde poner una mesa, que nos sirva para poner una balanza y donde poder posar ese botijo, veríamos que su peso sube en la báscula hasta algo más de los 10 kg. Júpiter es enorme, por lo que su atracción sobre el botijo es mucho mayor. Esto nos sirve para comprender que el **peso** de un objeto es algo relativo, es algo que solo depende del lugar donde se encuentra y de las fuerzas de atracción que sufra. Y la RAE ya lo deja muy claro, puesto que nos dice que el peso es «la fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo», y de forma más general se define como «la fuerza de gravitación universal que ejerce un cuerpo celeste sobre una masa». Vamos, que lo que llamamos peso es solo una medida de la fuerza de gravedad que actúa sobre una cierta masa, por lo que si sufres más gravedad tendrás más peso, y si estás en un lugar con menos gravedad tendrás menos peso, sin dietas ni trampas con la báscula. Y el peso es algo que no debemos confundir con la **masa**. La masa del botijo es la misma en todas partes, ya sea cuando lo tenemos bajo la sombra de una encina en la Tierra, en un cráter oscuro y fresquito en la Luna o en una imaginaria superficie en Júpiter, su masa es siempre la misma. La masa consiste en la cantidad de materia que lo compone y está claro que esa cantidad es siempre la misma. Si ya lo dice también la RAE, la masa es «una magnitud física que expresa la cantidad de materia de un cuerpo, medida por la inercia de este, que determina la aceleración producida por una

fuerza que actúa sobre él, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo (kg)». ¿Inercia? ¿Aceleración? ¡Uy!, ¡esto ya huele a ciencia espacial!

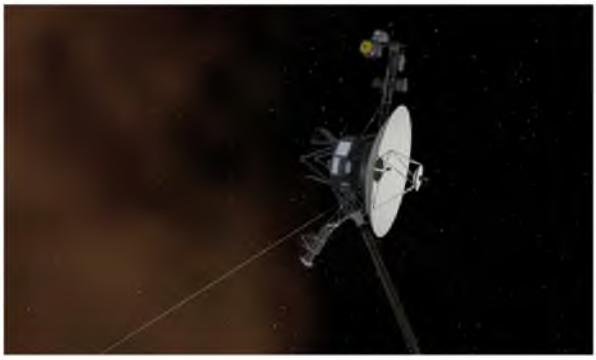
El experimento que a Galileo le hubiera gustado hacer en la Luna

Algunas de las cabezas pensantes de la antigüedad, como Aristóteles, decían que mientras más masa tuviera un cuerpo, más rápido caería al ser dejado caer al suelo. Es decir, que si tiramos a la vez una piedra grande y una pequeña, la piedra grande llegaría antes al suelo y algo más tarde la pequeña. Y es que a veces la intuición es engañosa hasta para Aristóteles, por lo que tenemos que aclarar este asunto. Supongamos que nos subimos a un quinto piso y lanzamos por el balcón un elefante y un huevo. De primeras podríamos decir que el elefante llegará al suelo antes, porque tiene más masa o porque pesa más. Sin embargo se puede comprobar que ambos objetos llegan al mismo tiempo al suelo, independientemente del peso y la forma de los objetos. Todos los objetos caen siempre a la misma velocidad, ya que la **aceleración** con la que son atraídos por la gravedad de nuestro planeta es igual para todos los objetos e independiente de su peso. A modo de homenaje y para despejar todas las dudas, el astronauta David Scott, de la misión Apolo 15, hizo sobre la superficie lunar un simpático experimento, que ya le habría gustado al mismísimo Galileo Galilei llevarlo a cabo. La tripulación llevó hasta la superficie lunar un martillo de geólogo (1,32 kg de aluminio puro) y una pluma de halcón (en homenaje al módulo Falcon donde volaron y con un peso de 0,001 kg). Ante la cámara y para sorpresa de nadie, el astronauta soltó ambos objetos desde la misma altura (1,6 m) y ambos llegaron al polvo lunar en el mismo momento. En la Tierra la pluma habría encontrado mucho rozamiento con el aire y el experimento habría acabado con un ridículo espantoso, al igual que las ideas de Aristóteles. Pero en el vacío de la Luna, sin la presencia de la molesta atmósfera, tanto la pluma como el martillo se dejaron llevar por la gravedad con la misma aceleración para chocar a la vez contra el suelo. El viejo chiste ya lo dice: ¿qué pesa más 1 kg de

paja o 1 kg de hierro?

Cuando el señor Newton llegó para poner un poco de orden

Ahora demos un paso más con algunos ejemplos sencillos, para entender el concepto de la **inercia**. Imaginemos que tenemos una caja llena de piedras que arrastramos sobre una gran explanada de cemento. Para empujarla y que se deslice sobre la explanada, tan solo necesitaremos hacer un poco de fuerza para ponerla en movimiento y continuar empujando para seguir avanzando. Y si nos detenemos, la caja también se detendrá de inmediato. Si ahora esa misma caja la desplazamos sobre un lago helado, la fuerza necesaria será mucho menor, ya que se desliza más fácilmente por la superficie al tener el hielo mucho menos rozamiento que el cemento. Ahora, en el momento en el que dejemos de empujar, la caja seguirá moviéndose, pero lo hará cada vez más lentamente hasta frenarse por completo, debido a que aunque el rozamiento sea menor, todavía existe. Si idealmente no existiera ningún rozamiento contra el suelo, tan solo necesitamos ese empujón inicial para poner la caja en movimiento y el movimiento sería eterno, la caja nunca jamás se detendría. ¡Enhorabuena, ya sabes cómo se mueven los satélites y las sondas por el espacio! Al contrario de lo que se puede pensar, cuando se lanza una nave hacia el espacio o hacia otro planeta, no es necesario tener los motores encendidos y propulsando todo el rato. Cuando el cohete las envía con un empujón inicial fuera de la atmósfera, ya pueden hacer todo el resto del viaje sin rozamiento alguno por el espacio y, por tanto, sin necesidad de nuevos «empujones», solo algunas pequeñas correcciones para afinar la trayectoria.



Las sondas Voyager 1 y 2 fueron lanzadas en 1977 y desde entonces siguen volando por el espacio sin usar ningún tipo de propulsión artificial, tan solo pequeños motores (toberas) usados para corregir pequeñas desviaciones y cambiar su orientación. Ninguna sonda ni satélite necesita un motor que la impulse para viajar por el espacio, aunque los llevan para controlar su orientación y trayectoria. Imagen: NASA/JPL-Caltech.

Con lo que ya hemos visto, sabemos que en condiciones ideales en las cuales no hay rozamiento, un objeto se mantendrá de forma eterna en movimiento (o en reposo) hasta que una fuerza actúe sobre su masa. Y este movimiento eterno es lo que se conoce como **inercia**, gracias a la cual viajan todos los objetos por el espacio. La inercia es muy poderosa y lo podemos comprobar si viajamos en un coche que pega un frenazo y hemos tenido la mala idea de no ponernos el cinturón de seguridad; veremos que no es ninguna broma. Mientras más masa tenga un objeto, más esfuerzo será necesario para ponerlo en movimiento o pararlo, y esto es algo que hay que tener muy en cuenta a la hora de lanzar una nave al espacio o para modificar su trayectoria. Aquí en la Tierra estamos acostumbrados a que la resistencia que provoca el suelo, el aire y la gravedad fastidien la magia de la inercia. Por ejemplo, si disparamos un cañonazo desde un barco pirata, la bala de cañón describirá una trayectoria que irá ascendiendo por un

tiempo, para posteriormente curvarse y bajar hasta llegar con suerte al barco enemigo debido a la fuerza de la gravedad y del rozamiento de la bala con la atmósfera. En el espacio profundo, sin aire con el que rozarse y sin una gravedad fuerte que le haga caer, esta bala seguiría «subiendo» (en el espacio no hay arriba ni abajo) de forma eterna, hasta que otra fuerza externa la haga cambiar su velocidad o rumbo. Así funciona la inercia, y si no que se lo digan a las sondas Voyager o Pioneer que llevan décadas viajando por el sistema solar «por la cara», bajo la pequeña influencia de la gravedad solar.

Para acelerar o frenar siempre tendremos que aplicar una fuerza que luchará contra la inercia de un objeto. Con todos estos conceptos en mente, el genio del señor Isaac Newton redactó en 1687 sus tres famosas leyes del movimiento, aquí resumidas y sin fórmulas:

- Primera ley: si algo se mueve, se mantendrá en movimiento debido a su inercia. Si se para, se mantendrá parado para siempre.
- Segunda ley: para moverlo (acelerarlo o frenarlo) será necesario aplicar una fuerza, que será proporcional a su masa. Es decir, que al aplicarse una fuerza, la aceleración que se le imprima será menor cuanto mayor sea su masa.
- Tercera ley: cuando empujo con una fuerza esa masa, la masa realiza una fuerza sobre mí de igual magnitud y de sentido contrario. Esta ley de acción-reacción, que es la que parece más abstracta, es la clave fundamental para viajar por el espacio con cohetes, como veremos un poco más adelante.

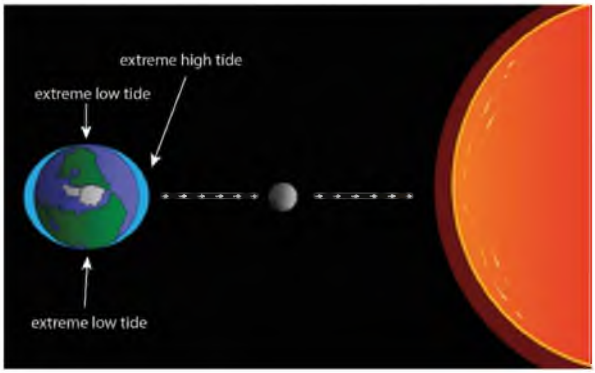
Sir Isaac Newton dibujado por Gottfried Kneller.
Imagen: Wikipedia/dominio público.

Y en este momento ya podemos meternos de lleno en la gravedad, que es para lo que habíamos venido hasta aquí. Como ya sabemos, todos los objetos tienen una masa que depende de la cantidad de materia que contengan y también tienen un peso, que varía según el lugar o planeta donde nos encontremos. Y también sabemos que si tiramos dos objetos de distinto peso al mismo tiempo, ambos llegan al suelo a la vez, ya que aunque el peso y la masa de uno de ellos sea mayor (por consiguiente la fuerza de gravedad con la que es atraído a la superficie terrestre también es mayor), su inercia y su resistencia a moverse desde un estado de reposo también son mayores. Como vimos con la segunda ley de Newton, el mayor peso es contrarrestado con su mayor inercia y por tanto todos los objetos caen a la misma velocidad, con la misma aceleración hacia el suelo, siempre.

Y por supuesto todos los objetos sienten la gravedad, pero también la crean. Si sobre una mesa tenemos un móvil y un vaso de agua, ambos sentirán la fuerza de atracción de sus gravedades mutuas. Por suerte no veremos al teléfono orbitar alrededor del vaso, puesto que sus masas son tan pequeñas que los efectos son despreciables. Y cuando una manzana cae al suelo, la Tierra también sufre la gravedad de la manzana y sube hacia arriba, pero la enorme diferencia de masa entre ambos objetos hace que el efecto sufrido por la Tierra sea despreciable y no sea ni remotamente apreciable. Sin embargo, en astronáutica debemos tener en cuenta que cuando un satélite orbita la Tierra sentirá no solo la gravedad terrestre (obvio), sino que también sufrirá la gravedad de la Luna, del Sol e incluso de las grandes cordilleras montañosas cuando las sobrevuele. Todo esto afecta también a su movimiento y debe ser tenido en cuenta, sobre todo si necesitamos una navegación precisa.

Por si fuera poco, otra cuestión viene a complicar el panorama: la fuerza de la gravedad no es constante, sino que disminuye con la distancia. Por suerte para

nosotros, desde la superficie terrestre no sentimos la enorme gravedad del Sol con la misma fuerza que si estuviéramos cerca de él, ya que saldríamos volando hacia el cielo si la Tierra estuviera cerca de él. Afortunadamente, la fuerza de la gravedad disminuye con una sencilla regla: si doblo la distancia a un objeto, la gravedad que siento es cuatro veces menor. Si triplico la distancia al objeto, la gravedad será nueve veces menor. La fuerza disminuye en función del cuadrado de la distancia, por lo que a grandes distancias la fuerza de la gravedad será muchísimo menor que en las cercanías, aunque desde luego esa disminución no es despreciable en muchos casos.



Cuando se alinean la Luna y el Sol se producen las mareas altas y bajas más extremas, ya que suman sus fuerzas de gravedad. Estas mareas vivas se producen tanto en la parte donde están los astros como en la parte opuesta del planeta. Nota: los tamaños y distancias de la Luna y el Sol no están a escala. Imagen: NOAA.

Las mareas son un claro y espectacular ejemplo de la fuerza de la gravedad en acción y de los objetos celestes en movimiento. El principal actor en las mareas terrestres es la Luna, aunque el Sol también tiene una gran influencia, que es aproximadamente la mitad de la provocada por la Luna. De forma simplificada, conforme ambos astros «suben» en el horizonte y pasan por nuestro cielo, van tirando del

agua de nuestros océanos hacia arriba y la levantan, produciendo la subida de la marea, para posteriormente bajar cuando se «ponen» tras el horizonte. La influencia del Sol y el hecho de que cada día la Luna sale en torno a una hora más tarde provoca que las horas de las mareas cambian día a día y su intensidad varía durante el mes que dura una órbita lunar alrededor de la Tierra. Por su parte, el Sol es millones de veces más pesado que la Luna, pero tenemos la ventaja de que se encuentra cientos de veces más lejos que nuestro satélite, por lo que su fuerza de marea es algo así como la mitad de la fuerza de marea lunar que sentimos en la Tierra. Los efectos combinados de ambos cuerpos se suman o se restan cada día para producir las mareas.

Como prometí, no voy a poner fórmulas que servirían para entender mejor y a la vez complicar todos estos temas, pero la conclusión más importante a la que llegamos con todo esto es: la gravedad de la Tierra provoca la aceleración de los objetos hacia ella y la magnitud de esta aceleración solo depende de la masa de la propia Tierra y de la distancia del objeto al centro del planeta. Además, la aceleración será constante, de forma que si el objeto está inicialmente en reposo, su velocidad no parará de aumentar y aumentar hasta el final de su viaje, normalmente al chocar contra el suelo. Esta aceleración se conoce como **fuerza g**, y en la superficie de nuestro planeta tiene el valor de 9,8 m/s^2, lo que comúnmente llamamos 1 g. Si nos subimos a un edificio de 30 metros de altura y tiramos una ballena partiendo del reposo, al pasar un segundo su velocidad de caída será ya de 9,8 m/s y habrá recorrido 5 metros. Al finalizar el siguiente segundo su velocidad ya será de 19,6 m/s (el doble) y habrá recorrido casi 20 metros y en total tardará 2,5 segundos en finalizar su viaje, al igual que cualquier otro objeto que tiremos (rozamientos del aire aparte), ya que todo es atraído con la fuerza de 1 g. Si se rompe nuestro ascensor y estamos en caída libre, o cuando bajamos por una

montaña rusa o damos un salto en bicicleta, sentiremos durante un instante una fuerza menor que 1 g, al igual que un astronauta que se encuentre en órbita, momento en el cual tendremos 0 g al estar sin gravedad. Por el contrario, cuando despegamos en un cohete, en un avión, frenamos un coche bruscamente o tomamos una curva a alta velocidad, las fuerzas g serán mayores de 1.

Y finalmente, para comprobar que la gravedad siempre funciona atrayendo con la misma aceleración a todos los objetos hacia abajo, podemos realizar el siguiente experimento. Supongamos dos personas que están juntas en una azotea con una pelota de tenis en la mano cada una. Si la primera persona extiende el brazo y suelta la pelota para que caiga al suelo en vertical hacia abajo y la segunda persona lanza al mismo tiempo la pelota hacia delante unos cuantos metros, pero desde la misma altura, ambas pelotas chocarán contra el suelo a la vez, en el mismo instante. La primera pelota solo tiene velocidad de caída en vertical y la segunda pelota además de caer en vertical tiene una velocidad en horizontal, que como acabamos de comprobar es totalmente independiente de la velocidad de caída. El movimiento en cada dirección es independiente y ambas caen en dirección vertical hacia abajo a la misma velocidad, ya que ambas son atraídas con la misma fuerza de 1 g por la Tierra. Para la segunda pelota solo es distinta la velocidad en horizontal que se le ha proporcionado al lanzarla, algo que pondremos en práctica junto a Newton en un momento.

montaña rusa o damos un salto en bicicleta, sentiremos durante un instante una fuerza menor que 1 g, al igual que un astronauta que se encuentre en órbita, momento en el cual tendremos 0 g al estar sin gravedad. Por el contrario, cuando despegamos en un cohete, en un avión, frenamos un coche bruscamente o tomamos una curva a alta velocidad, las fuerzas g serán mayores de 1.

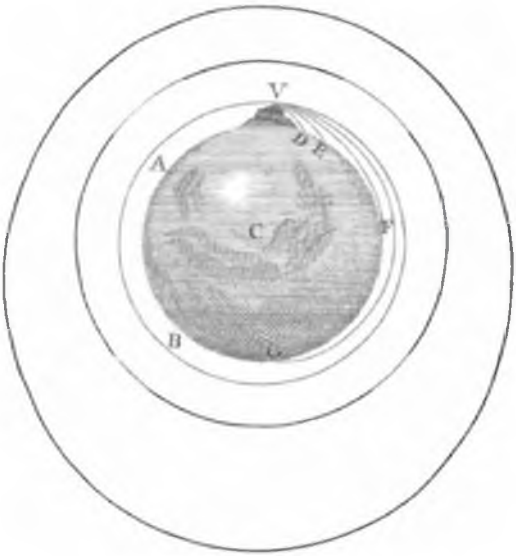
Y finalmente, para comprobar que la gravedad siempre funciona atrayendo con la misma aceleración a todos los objetos hacia abajo, podemos realizar el siguiente experimento. Supongamos dos personas que están juntas en una azotea con una pelota de tenis en la mano cada una. Si la primera persona extiende el brazo y suelta la pelota para que caiga al suelo en vertical hacia abajo y la segunda persona lanza al mismo tiempo la pelota hacia delante unos cuantos metros, pero desde la misma altura, ambas pelotas chocarán contra el suelo a la vez, en el mismo instante. La primera pelota solo tiene velocidad de caída en vertical y la segunda pelota además de caer en vertical tiene una velocidad en horizontal, que como acabamos de comprobar es totalmente independiente de la velocidad de caída. El movimiento en cada dirección es independiente y ambas caen en dirección vertical hacia abajo a la misma velocidad, ya que ambas son atraídas con la misma fuerza de 1 g por la Tierra. Para la segunda pelota solo es distinta la velocidad en horizontal que se le ha proporcionado al lanzarla, algo que pondremos en práctica junto a Newton en un momento.

Vamos a dar cañonazos por la ciencia

Empecemos pensando en nuestro planeta Tierra como una esfera y, por tanto, con una superficie curva que a primera vista no se aprecia, pero que es muy evidente a largas distancias. Conociendo el radio de nuestro planeta y con unos sencillos cálculos matemáticos se demuestra que por cada 8 kilómetros que avancemos por nuestro planeta, la superficie «cae» 5 metros. Es decir, que si tuviera una viga perfecta de hierro totalmente recta de 8 kilómetros de longitud apoyada en el suelo por un extremo, en el otro lado habrá una caída de 5 metros hasta la superficie debido a la curvatura terrestre. Si hemos visto alguna vez alejarse un barco de la costa mientras estamos tumbados en la playa, habremos notado que primero dejaremos de ver el casco y poco a poco iremos perdiendo de vista las velas o la chimenea, de forma que parecerá que se va hundiendo lentamente. Es por este mismo motivo por el que los faros de la costa son tan elevados, para que se puedan ver desde los barcos que se encuentran muchos kilómetros mar adentro y evitando que se pierdan en el horizonte.

Ahora que conocemos este detalle, vamos a reproducir el razonamiento que hizo Newton en su libro *Principia* de 1687, donde se detalla el concepto de órbita, basándose en las ideas previas de Galileo y Kepler para comprender mejor la gravedad. Newton pensó que si nos subíamos a lo alto de una montaña con un potente cañón y disparamos un proyectil hacia el horizonte, en los primeros instantes el proyectil seguirá recto, pero poco a poco cederá a la gravedad y al rozamiento atmosférico e irá cayendo hacia el suelo hasta impactar a unos kilómetros de distancia de nosotros. Si damos más cañonazos, y cada vez los disparamos con más y más potencia, el proyectil llegará en cada ocasión más y más lejos, recorriendo buena parte de nuestro planeta. Podría llegar un momento teórico en el cual hemos disparado con una potencia tan enorme, que el proyectil dará la vuelta a todo el planeta y acabará volviendo a nosotros por

detrás para darnos en el cogote.



Dibujo original del libro *Principia* de Newton, donde se pusieron las bases del vuelo espacial. Si lanzamos cada vez con más potencia un proyectil primero caerá en el punto D, luego en el E, más tarde en el F y luego en el G. Si lo disparamos con la suficiente energía y no tenemos atmósfera, podrá dar la vuelta completa al planeta y volver al punto V de origen. ¡Ya estamos en órbita! Imagen: Isaac Newton/*Principia*/dominio público.

Sigamos con la teoría y ahora pensemos que si además estamos en un mundo ideal sin atmósfera, y por tanto sin rozamiento para nuestro proyectil, este podría mantenerse girando y girando una y otra vez, dando la vuelta al planeta sin tocar nunca el suelo. Lo hemos disparado con tanta fuerza, que si conseguimos que recorra 8 kilómetros en cada segundo, nuestro proyectil caerá 5 metros en ese tiempo. Pero como sabemos que la superficie del planeta también cae esos 5 metros, de forma sorprendente la altura del proyectil respecto al suelo permanecerá constante durante todo el tiempo. Esta es básicamente la forma

en la cual los satélites artificiales se mantienen en órbita, ya que una vez que son lanzados con la suficiente velocidad por un cohete hacia el espacio y abandonan la atmósfera, se desplazan tan rápido que cuando caen 5 metros por culpa de la gravedad ya han recorrido 8 kilómetros y el planeta también ha «caído» esos 5 metros, por lo que siempre se mantendrán a la misma altura y ¡esto no es magia, es ciencia! ¡Así vuelan los satélites!

Gracias a Newton, por primera vez se ponían las bases teóricas que nos han permitido llegar hasta el espacio, ya que si conseguimos acelerar un objeto lo suficiente y lo sacamos de la atmósfera para evitar el rozamiento, lograremos que se mueva para siempre alrededor de nuestro planeta: ¡Ya sabemos qué hay que hacer para mantener un satélite en el espacio! Un poco más adelante veremos cómo llevarlo hasta allí arriba sin necesidad de liarse a dar cañonazos a lo loco, pero de momento solo tenemos que saber que para superar la gravedad necesitaremos gastar energía, mucha energía, que nos permita alcanzar esas enormes velocidades necesarias para permanecer en órbita.

¡Vaya ridiculez! ¡Es imposible viajar por el espacio!

Nos movemos todavía por el siglo XVII, cuando Newton formuló sus famosas leyes, y en concreto la tercera ley, que hacía referencia al principio de acción y reacción. Esta ley era la más prometedora a la hora de pensar que algún día podríamos viajar al espacio de una forma más segura que con la suicida propuesta del señor Wan-Hu, aunque eso sí, usando el mismo principio de acción y reacción que permite volar a los fuegos artificiales. Si consigo un objeto que expulse gases y fuego a alta velocidad, mi objeto se desplazará en sentido contrario al de los gases y se elevará hacia el cielo. Los numerosos sabelotodo de la época newtoniana y posteriores pensaron durante muchos años que viajar al espacio usando esa tercera ley de Newton era imposible, ya que sorprendentemente no la interpretaron bien y tampoco supieron aplicarla correctamente. Según se pensaba entonces, en nuestro planeta los cohetes caseros y los fuegos artificiales vuelan porque tenemos una atmósfera y los gases expulsados por los cohetes al chocar contra el aire provocan el desplazamiento del cohete, al igual que nuestro zapato contra el suelo hace que nos movamos. Conclusión: como en el espacio no hay aire ni nada contra lo que propulsarse, un cohete no funcionará jamás y no se puede viajar por el espacio. Estas concepciones erróneas lastraron el avance de la ciencia e influyeron incluso al famoso escritor de ciencia ficción Jules Verne, en cuya novela *De la Tierra a la Luna* no relata el viaje de un cohete, sino el de un gigantesco proyectil con tripulación que es lanzado al espacio con un enorme cañón (¡Hola, señor Newton!). De esta manera, la nave no necesitaba propulsarse por el espacio, dado que eso era algo imposible según se pensaba en la época. En caso de haberlo propuesto en su novela, Verne habría provocado críticas de todo tipo, aunque sabemos que siempre pensó que los cohetes sí que serían útiles en el espacio.

No fue hasta 1883 cuando el pionero de la

astronáutica mundial, el ruso Konstantin Tsiolkovski, se dio cuenta de que para propulsarse en el espacio un cohete solo necesita expulsar gases a altas velocidades. Eso sería más que suficiente para que sea impulsado en la dirección contraria, tal y como dicta la tercera ley de Newton: a una acción hay una reacción igual y de sentido contrario. Aun así, Tsiolkovski fue objeto de burlas y completamente ignorado por la comunidad científica en sus charlas, ya que nadie en Rusia (ni en el resto del mundo) parecía entender las enormes y fantásticas implicaciones de sus propuestas. Sin rendirse, siguió avanzando en sus estudios matemáticos y fue la primera persona en describir un cohete espacial tal y como lo conocemos en la actualidad. En sus obras describe cómo había que lanzarlo, desde dónde, los combustibles que necesitaría, su forma, los efectos de la fricción atmosférica, la velocidad necesaria para llegar a la órbita y las fórmulas básicas para conocer la velocidad de un cohete, conocida actualmente como la ecuación de Tsiolkovski. Y en la historia por la parte norteamericana tenemos al señor Robert Goddard, que diseñó un primitivo motor de cohete en 1914 y cuyos estudios y ensayos fueron despreciados por la comunidad científica americana, al igual que en Rusia. Cinco años después publicó un nuevo estudio llamado *Un método para alcanzar altitudes extremas*, detallando el funcionamiento de un motor de combustible sólido y hasta el prestigioso periódico *The New York Times*, en la página 12 de su edición del 13 de enero de 1920, habló de ese estudio para ridiculizarlo. El periódico acusó a Goddard de ser un mal científico, de no conocer la tercera ley de Newton y por tanto de ignorar la imposibilidad de propulsarse en el vacío, puesto que no había nada con lo que pudieran reaccionar los gases del cohete para impulsarse. Simplemente lo tomaron como un loco que diseñaba juguetitos peligrosos que jamás lograrían salir de la atmósfera. Cincuenta años después, el 17 de julio de 1969, y mientras la

tripulación del Apolo 11 viajaba hacia la Luna, *The New York Times* publicó una nota de disculpa póstuma:

> Una corrección. El 13 de enero de 1920, «Topics of the Times», una página editorial de The New York Times, descartó la noción de que un cohete podría funcionar en el vacío y comentó sobre las ideas de Robert H. Goddard, el pionero de los cohetes. La investigación y la experimentación posteriores han confirmado los hallazgos de Isaac Newton en el siglo XVII, y ahora está definitivamente establecido que un cohete puede funcionar en el vacío, así como en una atmósfera. The Times lamenta el error.

Como vemos, hace un siglo ya abundaban los «cuñaos» que hablaban tajantes sobre temas que creían conocer, cuando en realidad los desconocían por completo. Sin embargo, los trabajos de Goddard y Tsiolkovski junto con los de otros genios, como el húngaro-alemán Hermann Julius Oberth y el esloveno Herman Potočnik, encendieron la mecha de la ya imparable conquista del espacio, que llegaría en las siguientes décadas con la construcción de los primeros cohetes militares y espaciales.

Goddard posa orgulloso junto a su cohete en 1926, el primero fabricado por el ser humano. Funcionaba con gasolina mezclada con oxígeno líquido y su primer vuelo duró 3 segundos, alcanzando poco más de 12 metros de altura. Como curiosidad, los depósitos estaban abajo y el motor es lo que se aprecia en la parte superior, ya que pensaba que eso le daría más estabilidad. Imagen: JPL/NASA/dominio público.

Capítulo 2

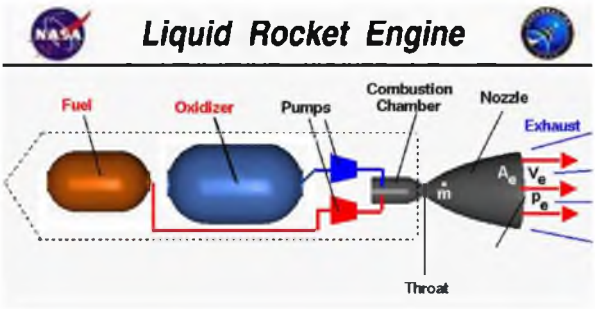
El despertar de la fuerza... del cohete. Historias para subir al espacio

¿Por qué vuelan los cohetes?

La propulsión es el método que usamos diariamente para ir de un sitio a otro y tenemos a nuestra disposición muchos tipos de propulsiones diferentes. El método más conocido de propulsión para los humanos es lo que llamamos «andar». Cuando andamos estamos empujando con nuestros zapatos hacia atrás la superficie del suelo y eso nos impulsa hacia adelante. O cuando vamos en bicicleta, nuestra fuerza ejercida sobre los pedales provoca un giro de las ruedas, que a su vez van ejerciendo la fuerza contra el suelo para desplazarnos hacia adelante. A cada acción hay una reacción igual y de sentido contrario, como decía Newton en su tercera ley. Si llenamos un globo de aire y lo soltamos, el aire a presión saldrá disparado y lanzará al globo a dar vueltas por la habitación. Si nos subimos a unos patines y tiramos algún objeto que tengamos en las manos hacia adelante, inmediatamente saldremos empujados hacia atrás, y lo mismo pasaría si intentamos disparar subidos en los patines (no lo intenten en casa). En cualquier otro medio de transporte terrestre con motor de combustión (moto, coche, autobús, camión...) la fuerza que mueve las ruedas es producida por un motor que funciona quemando algún tipo de combustible (gasolina o gasoil), utilizando el oxígeno del aire para provocar la reacción. Como resultado de la combustión en el motor, se hacen girar unas ruedas que empujan hacia atrás el suelo y nos propulsan hacia adelante.

Para volar los métodos usados son distintos, pero el principio empleado es el mismo. En un avión con hélices tenemos un motor de combustible que provoca el giro de unas aspas, que provocan que el aire sea empujado hacia atrás (como un gigantesco ventilador). Y como reacción a ese empuje, el avión se ve impulsado hacia adelante. Si el avión no tiene hélices, sino que tiene un motor a reacción, el principio es similar ya que unas turbinas movidas por la combustión en el motor se encargan de impulsar el

aire a presión hacia atrás, provocando un desplazamiento hacia adelante del avión que será sustentado en el aire con las alas. En ambos casos los aviones llevan consigo el combustible (la gasolina o el queroseno) que queman en el motor, combinándolo con el oxidante que encuentran a su paso (el oxígeno del aire) y provocando el movimiento del motor que a su vez mueve las aspas o las turbinas.



Esto es básicamente un cohete: tenemos dos tanques con el combustible (*fuel*) y el oxidante (*oxidizer*) con dos potentes bombas (*pumps*) que los extraen para mezclarse y arder en la cámara de combustión (*combustion chamber*), pasan por un conducto estrecho (*throat*) y al expandirse en la tobera (*nozzle*) hace que el chorro (*exhaust*) salga disparado a altísimas velocidades y provoca que el cohete se desplace hacia el otro lado siguiendo la tercera ley de Newton de acción-reacción. Imagen: NASA.

Un V-2 alemán listo para volar en la rampa de lanzamiento. Imagen: dominio público.

Sin embargo, cuando queremos propulsar un cohete para ir al espacio, la historia cambia por completo respecto a los coches o los aviones. En este caso, el cohete debe llevar dentro tanto el combustible como el oxidante que usará el motor, ya que en las capas altas de la atmósfera y en el espacio no tenemos oxígeno que podamos utilizar para quemar el combustible. Todo lo que vaya a necesitar el cohete necesita llevarlo consigo, porque en el momento en el cual suba unos pocos kilómetros ya no va a encontrar el oxígeno necesario para que el motor funcione. Es por este mismo motivo por el cual los aviones no pueden subir todo lo que quieran hacia arriba, puesto que llegará un momento en el cual el motor deje de trabajar al no

encontrar oxígeno con el cual quemar el combustible. Además del hecho de que la poca densidad del aire ya no permite a las alas sustentar al avión.

Los cohetes utilizan la técnica conocida como «propulsión a chorro», también llamada «de reacción». Este es un tipo especial de propulsión en la que el motor de combustión expulsa gases a altísimas velocidades como resultado de una reacción química explosiva entre el combustible y el oxidante (conocidos ambos como «propelentes»), lo que provoca un gran empuje en el sentido contrario. Así de simple es el concepto básico con el que funciona un cohete: mezclamos dos sustancias que explotan violentamente al juntarlas y los gases resultantes salen a alta velocidad para propulsar al cohete hacia arriba hasta el espacio. La teoría es sencilla, pero la práctica, como imaginamos, ha sido y es mucho más compleja, ya que un cohete es básicamente una bomba gigantesca de decenas de metros de altura y con cientos de toneladas de sustancias químicas inestables que van explotando de forma controlada para impulsarlo hacia arriba. ¿Quién quiere ser astronauta ahora?

Los oscuros orígenes de los cohetes

Un cohete basa todo su éxito en su gran capacidad para aumentar su velocidad de manera constante y brutal durante unos cortos pero intensos minutos. Cuando está en la torre de lanzamiento, tenemos un cohete con una masa descomunal de muchas toneladas y una velocidad de 0 m/s. Pero para llegar al espacio tiene que adquirir una alta velocidad de varios kilómetros por segundo (entre 7 y 8), lo que le permitirá colocar su carga en una órbita terrestre o interplanetaria. El gran mérito de la astronáutica está en poder construir unas máquinas gigantescas, que son capaces de elevarse cientos de kilómetros, a velocidades de varios kilómetros por segundo sin explotar o deshacerse por el camino en mil pedazos. Bueno, eso ocurre, pero no es la intención inicial. Para lograr sus objetivos el cohete cogerá una masa (su combustible) y le añade energía (el encendido del motor) para transformarla en empuje, en puro movimiento que deberá controlar milimétricamente, para que no acabe todo convertido en una cara y bonita bola de fuego.

Desde la época de Goddard hasta la Segunda Guerra Mundial todavía no existía nada ni remotamente parecido a un cohete. Tan solo se realizaban pequeños ensayos en laboratorios civiles y militares de la Unión Soviética, Estados Unidos y Europa sin mucha financiación y sin unos fines claros y definidos, solo como experimentos curiosos. Una guerra mundial hace que los países participantes dispongan de enormes cantidades de dinero y recursos para gastar con los que lograr sus particulares objetivos. Entre estos objetivos estaba construir el primer cohete (misil) de la historia, el histórico y terrible V-2 alemán cuyo creador fue Wernher von Braun, el más conocido de todos los ingenieros de cohetes de la historia. Von Braun nació en 1912 en la ciudad de Wirsitz, que era entonces parte del Imperio alemán y hoy perteneciente a Polonia, de padres con títulos nobiliarios y amplios recursos económicos. Su madre

era aficionada a la astronomía y le regaló un telescopio con el que observó durante innumerables noches el cielo en su juventud, algo que junto con las lecturas de los libros de Jules Verne y H.G. Wells le dejó enamorado del espacio y la ciencia ficción. Con 12 años, y tras leer un libro con la historia de la cohetería en China, realizó su primer experimento con cohetes, consistente en atar seis cohetes pirotécnicos a un pequeño coche de juguete y prenderles fuego, para orgullo de Wan-Hu. Sorprendentemente, el carro despegó unos metros del suelo y salió disparado por toda la calle dando vueltas al azar, atemorizando a los viandantes y finalizando su viaje con una gran explosión en el aire. Instantes después llegó la policía, que procedió a detenerlo sin más contemplaciones, siendo entregado horas más tarde a su padre que por aquel entonces era nada menos que el ministro de Agricultura. De esta forma otro sueño de la humanidad había comenzado con los sueños y gamberradas de un niño. Por supuesto este incidente no le detuvo y poco después comenzó a leer también los trabajos más serios de Hermann Oberth, lo que le llevó a aprender matemáticas y trigonometría por su cuenta.

Con 17 años se unió a la Sociedad Alemana de Cohetes (VfR) y con 20 se graduó como ingeniero mecánico, completando sus estudios dos años más tarde con un doctorado en Física. Para poder desarrollar sus ideas y construir cohetes, se inscribió en el Ejército alemán, que ya tenían un programa muy básico de construcción de misiles. Con la llegada de Hitler al poder en 1933, el presupuesto militar aumentó considerablemente y Von Braun pudo proseguir con sus juguetes, sus ensayos y con nuevos desarrollos más ambiciosos. Para aumentar su poder en el Ejército se enroló en 1940 en las temidas S.S. y convenció a Hitler de la gran ventaja militar que supondría usar los cohetes como misiles armados. Tuvo que ser convincente, porque poco después recibió el visto bueno del Ejército alemán junto a

enormes cantidades de dinero para comenzar con la construcción de una base secreta de misiles en la localidad de Peenemünde. Estos misiles-cohete serían más tarde conocidos como los V-2 y sembraron el terror en Europa con más de 3000 lanzamientos que impactaron en ciudades como Londres y Amberes. Estos cohetes eran construidos en la planta secreta de Mittelwerk por prisioneros de los campos de concentración y con trabajadores forzados que se encontraban en unas horribles condiciones, sin derechos ni descansos, llegando a fallecer más de 20 000 personas en sus instalaciones. Una vez que la guerra parecía perdida para los alemanes, Von Braun hizo declaraciones en las que afirmaba que no le interesaban los objetivos militares y que quería desarrollar cohetes espaciales, lo que le acarreó problemas con la Gestapo, pero le allanaba su camino en el futuro con los aliados.

Con la finalización de la Segunda Guerra Mundial, los servicios de inteligencia de los Estados Unidos y la Unión Soviética recorrieron Alemania para conseguir antes que nadie los planos, materiales e incluso los ingenieros que participaron en el programa del cohete-misil V-2 y así poder desarrollar sus propios programas a partir de la información incautada. Von Braun pudo contactar con el Ejército norteamericano y preparó su rendición, siendo capturado por el Ejército de los Estados Unidos durante la llamada Operación Paperclip. Días después fue trasladado a Norteamérica junto con otros ingenieros de su equipo y con los cohetes que lograron encontrar en buen estado gracias a la colaboración del propio Von Braun. A cambio, los estadounidenses se «olvidaron» de su horrible pasado nazi y pudo disfrutar de una buena vida para seguir con el desarrollo de los cohetes, pero ahora trabajando para la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. En 1955 fue nacionalizado estadounidense para que pudiera participar en el programa espacial, convirtiéndose en el líder del mítico programa Apolo que llevó al ser humano hasta la Luna.

Por su lado los soviéticos se quedaron con la otra parte del botín, pero al no poder capturar a Von Braun y su equipo, pusieron al mando a Serguei Koroliov, el mejor ingeniero del que disponían y padre de los cohetes soviéticos. Koroliov nació en la ciudad ucraniana de Zhytomyr, y en los años treinta ya desarrolló y lanzó un pequeño cohete junto con un grupo de ingenieros que trabajaban para el Ejército soviético. En 1938 y bajo la Gran Purga que llevó a cabo Stalin y que acabó con cientos de miles de personas encarceladas, torturadas y asesinadas, fue condenado a muerte, encarcelado y obligado a realizar trabajos forzados durante seis años. En 1944 fue liberado, ya que el Ejército ruso tenía ya pocos ingenieros vivos y un año más tarde fue trasladado a Alemania para recuperar la tecnología del V-2 en la Operación Osoaviakhim. El desarrollo de misiles y cohetes fue una prioridad en la Unión Soviética con la firma de un decreto por parte de Stalin en 1946, y se crearon las instalaciones y laboratorios necesarios para la construcción de misiles balísticos bajo un enorme secreto. Koroliov fue nombrado el jefe de diseño del OKB-1 (Oficina de Diseños Experimentales 1), la que ha sido y es actualmente la mayor empresa constructora de cohetes rusos, hoy conocida como RSC Energia. Allí diseñó y construyó los nuevos misiles rusos llamados R-1, R-2 y R-3 que introdujeron numerosas mejoras a los V-2 alemanes en velocidad y precisión. Debido al gran tamaño de las bombas nucleares soviéticas, fue necesario construir unos cohetes mucho más grandes para que pudieran transportarlas, algo que al final fue clave para que la Unión Soviética tuviera cohetes más poderosos que los Estados Unidos y llegaran primero al espacio. El 24 de agosto de 1957 realizó su primer vuelo el modelo R-7, el cual ha sido considerado como el primer misil intercontinental (ICBM) de la historia y que era capaz de llevar una carga nuclear de 5400 kg a una distancia de hasta 7000 km. De ahí a tener un cohete espacial ya solo había un suspiro.

Koroliov estaba muy interesado en enviar un satélite al espacio, sobre todo ahora que tenía un cohete muy potente y preparado para la tarea. Ya en 1954 propuso a las autoridades soviéticas enviar un satélite al espacio, pero su propuesta no interesó en absoluto a unos políticos que solo querían un proyecto que les permitiera aumentar su ventaja militar. Para ganar puntos entre los políticos, su equipo se dedicó a publicar informaciones algo exageradas sobre el verdadero estado de los cohetes y satélites soviéticos en la prensa de Moscú. Estas publicaciones fueron recogidas de inmediato por unos sorprendidos norteamericanos que se veían con una terrible desventaja y, por tanto, dieron un acelerón a sus proyectos, poniendo en marcha la carrera espacial entre ambas potencias. En julio de 1955, la nerviosa administración de Eisenhower lanzó su programa de desarrollo de satélites para no quedar desfasados con respecto a los soviéticos, que en realidad no tenían ningún programa de satélites artificiales todavía en funcionamiento. El 5 de agosto de 1957 Koroliov presenta al Gobierno soviético los titulares de la prensa norteamericana, donde hablaban del gran avance en satélites y cohetes que estaba llevando a cabo los Estados Unidos. Para ello les prepara un detallado informe, en el que destaca la importancia de ser el primer país del mundo en ser capaz de lanzar un satélite al espacio, ya que los americanos estaban tomando una alarmante ventaja en ese campo. Las autoridades soviéticas se pusieron algo nerviosas y para no perder más el tiempo, el 8 de agosto se aprueba el proyecto soviético de construcción de satélites, para alegría de Koroliov.

El histórico Sputnik-1 mientras era montado por un técnico. Imagen: dominio público.

El resto ya es historia conocida por todos. En menos de un mes el equipo de Koroliov diseña y construye un satélite de 83 kg muy básico, consistente en una esfera de metal de 58 cm de diámetro, que lleva en su interior una batería y un transmisor de radio que emite a través de 4 antenas colocadas en el exterior de la esfera. Esto era más que suficiente para que pudiera ser detectado desde las antenas civiles y militares de todo el mundo, que podrían confirmar que realmente había un satélite artificial en el espacio. Para lanzarlo Koroliov usó una versión modificada de su potente R-7, que llevó al Sputnik-1 a la órbita terrestre el 4 de octubre de 1957, causando una gran conmoción y sorpresa en todo el planeta. La sorpresa venía dada porque nadie esperaba que algo así pudiera realizarse tan pronto y menos por parte de los «atrasados soviéticos». Y la conmoción era provocada por la posibilidad de que la Unión Soviética usara esta ventaja recién adquirida para lanzar bombas atómicas por todos los Estados Unidos. La carrera espacial daba su pistoletazo de salida y durante tres semanas el «bip-bip» captado por las antenas de radio de todo el mundo llenó de titulares la prensa, radio y televisión del planeta. La prensa no solo hablaba de la enorme hazaña, sino también del miedo a ser bombardeados, así como del futuro increíble que estaba por llegar. Los poderosos Estados Unidos, que

llenaban sus televisiones de películas y series de ciencia ficción y que soñaban con liderar la carrera mundial al espacio, se dieron de frente con la realidad de que habían sido superados por la atrasada Unión Soviética. Ese *shock*, junto con la presión por remontar la situación, les duró más de una década, hasta la llegada del programa Apolo. El Sputnik-2, lanzado el 3 de noviembre de ese mismo año con la perra Laika a bordo, dejó de nuevo en evidencia a los Estados Unidos, que se olían un vuelo tripulado por humanos cuando ellos todavía no podían ni poner un pequeño satélite en el espacio.

Von Braun posa delante de los 5 gigantescos motores F1 de 6 metros de largo y 4 metros de ancho y 8,5 toneladas de peso cada uno, pertenecientes a la primera etapa del Saturno V que diseñó para llevar a los astronautas norteamericanos hasta la Luna. Imagen: NASA.

Este momento histórico también nos trajo una curiosidad, ya que la etapa principal del cohete que lanzó el Sputnik-1 también llegó a la órbita terrestre con sus 26 metros de longitud y sus 7500 kg de peso. El cohete fue además forrado con paneles reflectantes para aumentar su brillo y que pudiera ser visto como una estrella de primera magnitud desde la Tierra, por lo que se podía seguir su trayectoria sin dificultad. Sin embargo, aunque el pequeño satélite era metálico y muy reflectante, su brillo no superaba la sexta magnitud, por lo que difícilmente se podía observar a simple vista. Por lo tanto, la mayoría de las personas que creyeron ver el histórico satélite, en realidad lo que vieron era el cohete R-7 que lo seguía a corta distancia con un brillo 100 veces superior.

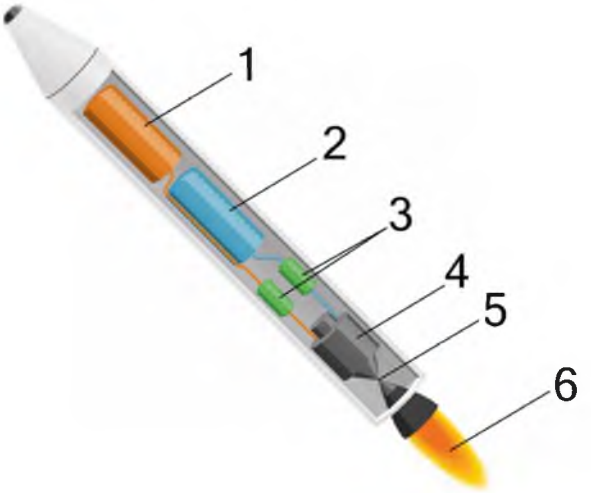
¿Y qué se hacía mientras en los Estados Unidos? Pues duplicar esfuerzos, porque ¿para qué te vas a gastar un dineral en un proyecto si puedes tener dos proyectos por el doble de ese dineral? Por un lado estaba el proyecto Redstone del Ejército, que propuso a su misil militar Redstone como lanzador de satélites y, por el otro, teníamos el proyecto Vanguard de la Armada, cuyo cohete Vanguard sí que fue desarrollado expresamente para lanzar satélites. En 1955 el presidente Eisenhower decidió impulsar el cohete «civil» Vanguard y se le dio el encargo de lanzar el satélite Vanguard TV-3, con el objetivo de ser el primer satélite artificial de la humanidad. Tras muchos retrasos y problemas en la construcción, se decidió acelerar el proceso de lanzamiento, que finalmente tuvo lugar el 6 de diciembre de 1957 (ya habían pasado dos meses desde el Sputnik-1). Pero el que debía ser el primer satélite del país explotó en la rampa de Cabo Cañaveral, en un evento que fue retransmitido para todo el mundo, tras realizar un cortísimo vuelo de tan solo 2 metros sobre la plataforma. Este enorme fracaso y la presión mediática llevaron a tomar la decisión de reconvertir rápidamente un misil Júpiter del arsenal del Ejército, en el cohete Juno-1 y construir el satélite Explorer-1 en

el tiempo récord de 84 días, bajo la coordinación de Von Braun. El recién creado Jet Propulsion Laboratory (JPL) fue el responsable de diseñar y construir este satélite, que era básicamente un cilindro de 2 m de longitud, 15 cm de diámetro y un peso de 14 kg, mucho más pequeño que los Sputnik-1 y 2. A cambio, fue el primer satélite que portaba una instrumentación científica, consistente en un detector de rayos cósmicos y varios sensores de temperatura y micrometeoritos. Su lanzamiento ocurrió el 1 de febrero de 1958 (cuatro meses tras el Sputnik-1) y fue todo un éxito, tanto en el rendimiento del cohete como en el funcionamiento del satélite, que estuvo activo durante casi 4 meses y permaneció 12 años en órbita antes de desintegrarse en nuestra atmósfera.

Por tanto, la carrera espacial tuvo un origen completamente militar debido al clima de rivalidad y Guerra Fría que reinaba en los años cincuenta entre las dos superpotencias, y con todo el dinero fresco del mundo para llevar adelante sus proyectos, por muy caros que fueran. Poco después los Estados Unidos decidieron crear su programa espacial civil con la fundación de la NASA el 1 de octubre de 1958, que acabó absorbiendo la NACA (National Advisory Committee for Aeronautics). La NACA era el organismo que hasta entonces gestionaba la investigación aeronáutica y la NASA también incorporó sus laboratorios, así como otros del Ejército y la Armada relacionados con la investigación espacial. La NASA también financiaría el JPL, que pertenece al California Institute of Technology y que se encargaría a partir de entonces y hasta la actualidad de construir sus satélites científicos y sondas espaciales. El encargo a la novata NASA era claro: enviar a los primeros norteamericanos al espacio con el nuevo programa Mercury antes de que los rusos lo hicieran. *Spoiler*: sale mal.

¿Cómo funciona un cohete?

Un cohete es una máquina extraordinariamente grande y compleja que funciona con la precisión de un reloj suizo. Aunque el concepto de funcionamiento de un cohete es sencillo, ya que tan solo requiere mezclar dos líquidos, la práctica requiere de la elaboración de auténticas maravillas de la ingeniería. Su funcionamiento (muy simplificado) comienza con dos superbombas que extraen el combustible y el oxidante de sus depósitos a bajísimas temperaturas y los envían a un ritmo de cientos o miles de litros por segundo y altísimas presiones a la llamada «cámara de combustión», donde se produce la mezcla de ambos líquidos y su explosión. En ese instante pasan por un conducto relativamente estrecho que los inyecta en la tobera en forma de campana, donde se expanden y salen al exterior a altísimas velocidades y temperaturas, provocando el empuje hacia arriba del cohete tal y como vimos con la tercera ley de Newton.



Esquema básico de un cohete: 1. Combustible líquido, 2. Oxidante líquido criogenizado, 3. Turbobombas, 4. Cámara de combustión, 5. Inicio estrecho de la tobera, 6. Los gases salen al exterior a altísimas velocidades. Imagen: NASA.

Este enorme motor RS-25 es solo uno de los tres que llevaba el Transbordador Espacial en su parte trasera. Mide 4,5 metros de alto, 2,5 metros de diámetro y pesa 3,2 toneladas. El cohete SLS llevará cuatro de ellos en su parte inferior. Imagen: NASA.

Para comprender un poco la potencia de un motor espacial vamos a ver cómo funciona de forma muy simplificada el RS-25 que impulsaba al Transbordador Espacial y que ahora lo hace con el gigantesco SLS (Space Launch System) de la NASA, con un coste de 100 millones de dólares por unidad. Este motor ha sido desarrollado por la empresa Rocketdyne y tiene una altura de 4,5 metros, un diámetro de 2,5 metros y un peso de 3170 kg en seco (sin combustible). Funciona alimentándose de hidrógeno líquido como combustible y oxígeno líquido como oxidante, que son mezclados en la cámara de combustión en una proporción de 1:6 (por cada litro de hidrógeno entran seis de oxígeno). La temperatura por la que pasan sus distintos componentes varía entre los -253 °C de las zonas por las que circulan los propelentes criogenizados hasta los 3300 °C de la tobera por la que salen los gases del cohete. Las bombas que alimentan el motor trabajan a más de 5000 rpm (5000 revoluciones por minuto, equivalente a 84 por segundo), subiendo la presión del oxígeno de 100 a 420 psi (la presión atmosférica es de 14.7 psi). De ahí son enviadas a una turbobomba que trabaja a 28 200 rpm

(con un poder equivalente a 23 260 caballos de potencia), para subir la presión de los 420 a los 4350 psi. Todo ello también de forma similar para el hidrógeno, en otro circuito paralelo de conductos, bombas y turbobombas. Una vez que los líquidos están a una altísima presión, se mezclan en una zona de precombustión para que queden bien integrados entre sí. De ahí se pasan a la cámara de combustión principal donde entran en ignición, provocando un aumento de las temperaturas hasta los 3300 °C. En ese momento pasan convertidos en un plasma gaseoso a la tobera, que en su inicio tiene un diámetro de tan solo 26 cm por el que deben pasar todos los gases. La tobera se va expandiendo a lo largo de su longitud de 3,1 m para terminar en su extremo exterior con un diámetro de 2,3 m y en forma de campana, lo que provoca la expansión y el aumento de la velocidad en la salida de los gases de combustión. Si los datos te han apabullado, es porque son apabullantes.

Esta ignición está controlada por varios ordenadores y produce un empuje total de 1.860.000 newtons (lo suficiente como para mover 1860 toneladas y acelerarlas en 1 m/s cada segundo), el equivalente a la potencia que tienen 10 aviones de pasajeros juntos. En sus 8 minutos de funcionamiento hasta llegar a la órbita terrestre, consumirá los 2 millones de litros de hidrógeno y los 750 000 litros de oxígeno, lo que equivale a unos 5800 litros de combustible quemado por segundo, toda una bestia que podremos ver los próximos años en los vuelos del SLS.

¿Qué tipos de combustibles usan los cohetes?

Como hemos visto anteriormente, los propelentes (también llamados propergoles) de un cohete son las sustancias que se usan para propulsar un cohete, contando tanto el combustible que aporta la energía como el oxidante que provoca que el combustible arda y explote de manera controlada. En cohetería se usan tanto propelentes sólidos, líquidos como gaseosos, siendo los dos primeros los más usados en los cohetes que vemos despegar de nuestro planeta y los gaseosos suelen quedar reservados para la propulsión y orientación de satélites y sondas una vez que están en el espacio. En los cohetes actuales de propelentes líquidos, el oxidante siempre es el **oxígeno líquido**, también llamado LOX (de *liquid oxygen*). El oxígeno a temperatura ambiente es un gas (de otra forma sería muy difícil que pudiésemos respirar) y para mantenerlo en estado líquido es necesario enfriarlo y criogenizarlo a temperaturas inferiores a los -183 °C, lo cual ya implica una mayor complejidad para el diseño. A esas temperaturas el oxígeno ya licuado se transporta por tuberías recubiertas de aislantes desde los tanques de almacenamiento a su tanque correspondiente del cohete, donde deberá permanecer en estado líquido hasta que se produzca el lanzamiento. Como combustible líquido para cohetes, los más utilizados en la actualidad son el **hidrógeno líquido** y el conocido como **RP-1**, aunque los nuevos cohetes están empezando a usar también el **metano líquido**.

El hidrógeno líquido (LH_2) solo existe por debajo de los -253 °C, por lo que hay que enfriar el combustible hasta esas bajísimas temperaturas (¡mucho más que el oxígeno!) para poder ser enviado a su tanque aislado y presurizado dentro del cohete. Entre las grandes ventajas que nos aporta este combustible se encuentra su alto rendimiento y, además, como resultado de la combustión con el oxígeno obtenemos vapor de agua, por lo que es más respetuoso con el medioambiente. Como grandes inconvenientes tenemos su alta

explosividad y la necesidad de mantener todo el cohete a bajísimas temperaturas. Como ejemplo de su uso tenemos los motores RS-25 del Transbordador Espacial y el SLS de la NASA, el cohete Ariane 5 y Ariane 6 de Arianespace, el Delta IV de ULA y la segunda y tercera etapa del histórico Saturno V, que llevó las misiones Apolo a la Luna. Por su parte, el RP-1 (Rocket Propellant 1) es una variante refinada del queroseno, que se usa como combustible en la aviación. Su eficiencia es menor que la del hidrógeno líquido, pero tiene entre sus ventajas un menor riesgo de explosión, es más barato y además es más sencillo de manipular ya que no necesita esas temperaturas tan bajas. Como gran desventaja ya puedes imaginar que está la contaminación que produce en el lanzamiento, al ser al fin y al cabo un combustible derivado del petróleo. Es ampliamente usado en la actualidad en cohetes como Soyuz, Atlas V, Antares, Falcon 9, Falcon Heavy y se usó también en la primera etapa del Saturno V. Un nuevo tipo de motor en desarrollo en la actualidad es el que usa como combustible el metano líquido (CH_4 o gas natural licuado), que se está probando con éxito en los motores Raptor de SpaceX para la futura Starship y en los motores BE-4 de Blue Origin para el cohete New Glenn. Este combustible se mantiene líquido a temperaturas por debajo de los -162 °C, por lo que no es necesario enfriarlo tanto como el hidrógeno, pero sí llevarlo a temperaturas muy similares al oxígeno líquido. Es más eficiente que el RP-1 y su combustión produce moléculas más pequeñas, dejando por tanto menos hollín en la atmósfera y en el interior del motor, lo que posibilita que pueda ser reutilizado más veces en otros lanzamientos. Este detalle es algo que será fundamental en las próximas décadas, dada la tendencia a fabricar cohetes y motores reutilizables.

CONCEPTO	TEMPERATURA
Congelación del agua	0 °C
Congelador doméstico	-18 °C a -25 °C

Ultracongelador	-80 °C
Metano líquido	-162 °C
Oxígeno líquido	-183 °C
Hidrógeno líquido	-253 °C
Cero absoluto	-273 °C

Tabla de temperaturas de los propelentes criogénicos para cohetes. Tabla: elaboración propia.

Por su parte, los cohetes de **propelente sólido** son como los fuegos artificiales a gran escala. En su interior llevan algún compuesto químico en estado sólido formado por el combustible y el oxidante mezclados para proporcionar toda la energía necesaria para propulsar el cohete. Cuando se enciende el motor tan solo arde la parte de la superficie expuesta al aire, consumiéndose el resto poco a poco y saliendo todos los gases resultantes por la tobera a altas temperaturas y velocidades. Como gran ventaja respecto a los cohetes de propelente líquidos se encuentra un coste más bajo, la mayor simplicidad en el diseño, un fácil transporte y permite largos periodos de almacenamiento sin que sufran en su calidad o estabilidad. Además proporcionan durante su funcionamiento un alto empuje, que es necesario para despegar. Sin embargo, tienen una eficiencia menor que los líquidos y tienen el gran inconveniente de que una vez encendidos ya no se pueden apagar.

El Transbordador Espacial en el momento en el que se separan los dos cohetes sólidos y sigue su viaje con el enorme tanque naranja con hidrógeno y oxígeno que alimentan sus tres motores RS-25. La pequeña nube que se aprecia en la punta de un SRB corresponde a los motores que lleva en su parte superior y que se encienden justo en el momento de la separación para evitar que en la caída choquen contra las alas del Transbordador. También se puede ver que dejan quemada y oscurecida la superficie del tanque principal de combustible. Imagen: NASA.

Un conocido ejemplo de cohetes de propelente sólido lo tenemos en los cohetes laterales que llevaba el Transbordador Espacial en sus misiones (SRB o *Solid Rocket Booster*), que le proporcionaban el empuje extra necesario para la parte más difícil del vuelo, que era el despegue del suelo. El propelente sólido usado en estos cohetes es el perclorato de amonio como oxidante (70 % del peso total), el polvo de aluminio como combustible (16 %) y otros compuestos menores que actuaban también como combustibles y catalizadores de la reacción química. Estos SRB son los más grandes que han volado hasta la fecha y cada uno pesaba un total de 590 toneladas, 500 de las cuales corresponden al propelente sólido de su interior. Su altura total era de 45,6 metros (como un edificio de 15 plantas) y su diámetro de 3,7 metros. Ardían durante los primeros 127 segundos del vuelo con un empuje de 15 MN (meganewtons), y una vez consumidos por completo se separaban del Transbordador a 46 kilómetros de altura para ahorrar peso. Eran completamente reutilizables, puesto que tenían unos paracaídas que permitían un amerizaje suave en el océano, donde eran recogidos por barcos. Para el nuevo cohete SLS de la NASA se usarán estos mismos SRB pero mejorados y algo mayores, ya que llegan a los 54 metros de altura (un edificio de 18 plantas) y 730 toneladas de peso. Como cualquier cohete sólido, una vez encendidos no se pueden apagar y durante cada segundo de vuelo el SRB consume casi 4 toneladas de

propelente hasta quedar completamente vacíos.

¿Son contaminantes los cohetes?

¿Que si son contaminantes los cohetes? Sí, claro. Como cualquier otra actividad humana, el lanzamiento de cohetes es contaminante. ¿Pero es muy contaminante? Bueno, depende de lo que se considere muy contaminante. Por un lado, los cohetes son enormes máquinas cargadas de decenas o cientos de toneladas de combustible que se queman muy rápidamente, dejando todos los gases resultantes en la atmósfera. Pero por el «lado bueno» tenemos que los lanzamientos espaciales no son excesivamente numerosos, ya que se realizan una media de entre 80-110 lanzamientos al año en todo el mundo, uno cada 3 o 4 días de media y con una duración de entre 7 y 10 minutos cada uno de sus vuelos. Reconozco que no he hecho las cuentas, pero seguro que si hacemos la suma de todo el combustible gastado en todos los lanzamientos de un año y conocemos el total resultante de los gases expulsados a la atmósfera, la cifra será enorme, pero seguramente será un porcentaje minúsculo en comparación con los gases emitidos por todos los aviones, grandes barcos de transporte de mercancías o de nuestros coches en todo el mundo en un año. Y todo eso sin contar las decenas de miles de fábricas que emiten las 24 horas del día, durante los 365 días del año. Efectivamente es una actividad de transporte que contamina, pero a un nivel insignificante desde el punto de vista global, lo que no significa que no sea necesario seguir buscando combustibles alternativos que sean menos dañinos. Aunque ya te aviso que por desgracia la propulsión química seguirá siendo durante muchas décadas la que se empleará para subir al espacio, puesto que no existen tecnologías que permitan sustituir los motores de combustión química de los cohetes para enviar cargas al espacio. Para diseñar un cohete solo existen dos criterios: su eficiencia y su coste. El medioambiente nunca ha sido tenido muy en cuenta, pero esto parece que está empezando a cambiar y todas las agencias espaciales tienen programas para el

desarrollo de combustibles menos dañinos para la atmósfera y el medioambiente. Veamos que ocurre en la actualidad.

¿Qué combustibles se usan en los cohetes? Los cohetes no son todos igual de contaminantes, ya que los gases que expulsan dependen de los combustibles con los que funcionen, siendo algunos hasta decenas de veces más contaminantes que otros. Los combustibles más habituales son (ordenados del más al menos usado):

- RP-1: es una variante del queroseno y por tanto el peor para el cambio climático.
- Hidrógeno líquido: el más ecológico de todos, siempre que su producción no sea contaminante.
- Combustibles sólidos basados en perclorato de amonio mezclado con polvo de magnesio o aluminio y aglutinantes como HTPB o PBAN: altamente contaminantes.
- Metano líquido: menos contaminante que el RP-1 y el que parece que será el más usado en los próximos años.
- Combustibles hipergólicos: muy tóxicos. Se usan en las etapas superiores de algunos cohetes, así como para maniobras en el espacio.

¿Qué gases se producen en la combustión? En las estelas de los cohetes podemos encontrar (contando lo que se produce en todos los tipos de cohetes, de mayor a menor cantidad):

- CO_2: no es contaminante en sí, pero es fatal para el calentamiento global.
- Vapor de agua: un residuo completamente limpio.
- CO: monóxido de carbono que es altamente tóxico.
- NO_X: óxidos de nitrógeno que afectan a la capa de ozono y crean lluvia ácida.

- Hollín: produce contaminación y es malo para el calentamiento global.
- Cloro y derivados: son muy tóxicos.
- Compuestos de aluminio: muy tóxicos.
- Compuestos de azufre: muy tóxicos.

Bien, la lista es deprimente pero hay que dejar claro que no todos esos compuestos salen en todos los cohetes, sino que dependen de sus combustibles originales. Los cohetes más contaminantes de todos son los que usan motores de combustible sólido (llamados SRB, *Solid Rocket Boosters*), ya que están formados por compuestos químicos en su totalidad y todo lo que expulsan puede considerarse tóxico. Son muy usados porque son baratos, fáciles de transportar y ayudan enormemente en el momento inicial del despegue proporcionando el empuje necesario para enviar la carga al espacio. Entre los cohetes más conocidos que usan combustible sólido tenemos los cohetes laterales del Transbordador Espacial (ya retirado), del SLS (hermanos mayores de los usados en el Transbordador), en el Ariane 5 y Ariane 6, en las primeras etapas del Vega, en algunas versiones del Delta 4 y Altas V, en la mayoría de cohetes Long March, en el PSLV y en el H-IIA.

Los siguientes en la lista de más contaminantes son los llamados hipergólicos, y se caracterizan porque arden al entrar en contacto con el oxidante, sin necesidad de «encender la mecha», lo cual simplifica el diseño y permite varios encendidos y apagados simplemente con «abrir y cerrar el grifo». La mayoría usan una mezcla de N_2O_4/UDMH, que traducido significa tetróxido de dinitrógeno (funciona como oxidante) mezclado con dimetilhidrazina asimétrica (derivado de la hidracina que funciona como combustible), que de nuevo todo traducido significa «mejor no estés cerca si se derrama». Lo usan cohetes como el Proton ruso, el GSLV hindú y algunos Long March de China. También se encuentran en los motores de aborto de las cápsulas Dragon y Starliner,

y se usaban como motores de maniobra (OMS) en el Transbordador Espacial. Una vez quemados por el motor se desprende sobre todo CO_2, agua, óxidos de nitrógeno y de azufre y hollín, dejando unas estelas de colores rojizos muy características.

El cohete Falcon 9 usa RP-1 en sus dos etapas. Aquí lo vemos despegando en la misión Demo-2 en mayo de 2020. A la izquierda se pueden apreciar los gigantescos chorros de agua que se lanzan a la plataforma durante la ignición para evitar daños en el cohete y la plataforma debido a las vibraciones y los altos niveles de ruido. Imagen: NASA.

El combustible más frecuente en la actualidad y a su vez el peor para el cambio climático es el RP-1, que es un derivado del petróleo y primo del queroseno, por lo que los compuestos resultantes son los esperables: mucho CO_2, óxidos de nitrógeno (producido por la alta temperatura de los gases del cohete al contactar con nuestra atmósfera repleta de nitrógeno), hollín, CO y otros compuestos menores, básicamente igual a lo que encontramos en cualquier tubo de escape de un coche

de combustible, pero a lo bestia. Lo encontramos en cohetes como el Falcon 9 y Falcon Heavy, el Atlas V, el Soyuz, el Angara y el Long March 6, entre otros, así como en los futuros Soyuz-5.

El sustituto del RP-1 en el futuro parece ser el metano líquido que es más eficiente y que al arder con el oxígeno produce fundamentalmente CO_2, agua y óxidos de nitrógeno en menores cantidades. El metano es un gas de invernadero terrible, y al quemarse se convierte en CO_2, el cual tampoco es bueno, aunque es emitido en menor cantidad que la producida con cohetes propulsados por RP-1. Este combustible lo veremos en los próximos grandes cohetes como Starship, Vulcan y New Glenn.

Y el que realmente podríamos considerar como prácticamente ecológico es el motor propulsado por hidrógeno, algo que se va imponiendo entre los coches pero que ya es ampliamente usado en los cohetes espaciales desde hace décadas. Las emisiones producidas por estos motores son en su mayor parte vapor de agua (como resultado de su combustión con el oxígeno) y algunos vapores de óxido de nitrógeno, debido a la reacción de los ardientes gases del cohete con el nitrógeno de la atmósfera. El hidrógeno es un combustible muy potente, pero es necesario enfriarlo a temperaturas bajísimas para que sea líquido, por lo que es muy complicado su uso y almacenamiento. Si recuerdas el enorme tanque de color naranja que llevaba el Transbordador Espacial, en su interior se encontraba un depósito de hidrógeno y otro de oxígeno que eran quemados en los 3 enormes motores RS-25 del Transbordador. Como resultado producían un gran empuje y enormes estelas de vapor de agua. También es usado en la actualidad en el cohete SLS (que hereda el tanque del Transbordador), en el Delta IV Heavy, en la etapa principal del Ariane 5 y el Ariane 6, en la etapa superior Centaur y en el cohete japonés H-IIA.

Por último, una cosa que no debemos confundir con la contaminación son las enormes nubes de vapores y

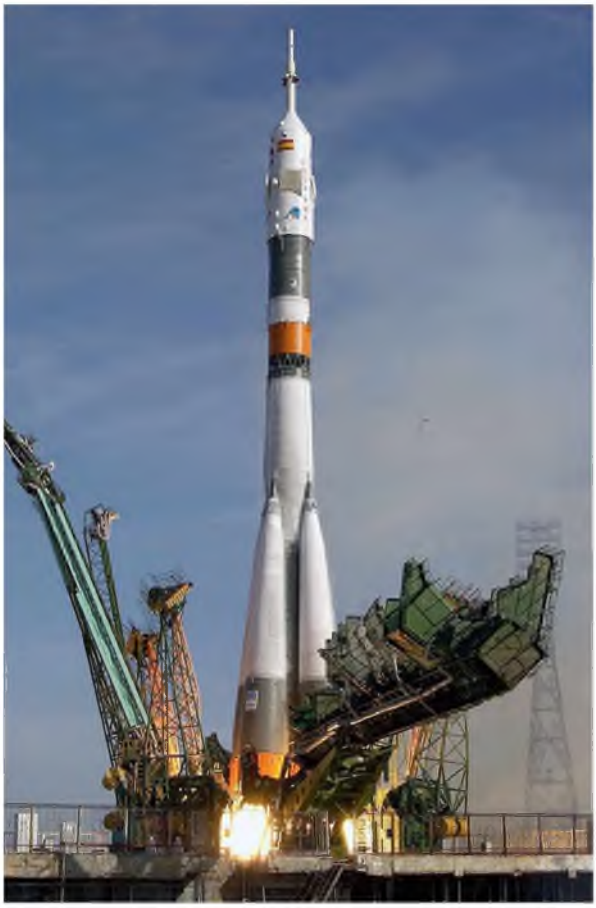
gases que rodean a un cohete en el momento de su lanzamiento. Cuando despega un cohete, la cantidad de energía liberada en ese instante produce tantas vibraciones y ruidos, que si no se hiciera nada para amortiguarlo provocaría que la torre de lanzamiento y el propio cohete no lo soportaran y se destruyeran al instante. Por eso, unos segundos antes del lanzamiento, en muchas torres se comienzan a lanzar grandes chorros de agua que inundan toda la zona que rodea al cohete en su plataforma. De esta manera durante la ignición, el agua se encarga de absorber y amortiguar la mayoría de las vibraciones producidas, y como resultado veremos esas enormes nubes que en realidad están formadas (además de por los gases expulsados por el cohete) en su mayor parte por vapor de agua, que se expande alrededor de la torre de lanzamiento.

El cohete Saturno V de la misión Apolo 11 despegando desde la rampa en Cabo Cañaveral. Dos enormes columnas de humo y vapor de agua se extienden hacia los lados. Imagen: NASA.

¿Qué es ese humo que sale de los cohetes antes de lanzarlos?

En muchas ocasiones, cuando se ve la retransmisión del lanzamiento de un cohete, podemos observar que durante la hora previa al despegue el cohete comienza a expulsar por varias zonas de su estructura principal algunos chorros de vapores o gases blancos. Hay ciertos instantes en los que la cantidad cada vez va a más, e incluso llega un momento en el cual el cuerpo del cohete está casi al completo rodeado de una pequeña neblina de gases. ¿Que está expulsando el cohete? ¿Tiene pérdidas? Como ya sabemos, muchos cohetes usan como propelentes (el oxidante y el combustible) el oxígeno y el hidrógeno líquido, que se encuentran a bajísimas temperaturas y que es necesario mantener durante todo el proceso. Cuando queda entre una y media hora para el lanzamiento, se procede con la carga del combustible en el cohete a través de conductos que van de la torre de lanzamiento a los orificios de carga de los propelentes. Una vez que los tanques están llenos, el oxígeno líquido (y el hidrógeno, en caso de usarlo) comienza a calentarse al no poder mantenerse tan frío como en los tanques de almacenamiento. En ese instante pasa de ser un líquido a convertirse en gas cuando se pone a hervir (el oxígeno líquido pasa de líquido a gas o hierve si sube de -183 °C) y se va acumulando dentro del tanque. Al igual que una olla a presión, es necesario proporcionar una vía de escape para estos gases hacia el exterior si no queremos que nuestro cohete estalle en mil pedazos. Y ese escape es lo que provoca los chorros de gases que se observan en la televisión. En realidad, el oxígeno y el hidrógeno gaseosos son transparentes, pero al salir a tan bajas temperaturas provocan que el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera se congele a su alrededor, generando esos chorros de color blanco. Además, los líquidos criogenizados del interior del cohete enfrían mucho la carcasa exterior y esto hace que se vaya condensando la humedad ambiental, formando placas

de hielo en el exterior. Estas placas vuelven al cohete de un color más blanquecino y podemos ver incluso cómo se van sublimando y evaporando a lo largo de la estructura del cohete. Mientras tanto, el proceso de carga de combustible sigue a un ritmo más lento para compensar el que se está evaporando. Esto consigue que se mantenga una carga óptima del tanque hasta el momento del lanzamiento, momento en el cual observamos que ya no salen más gases al exterior al cerrarse la válvula de escape para mantener dentro el máximo combustible que sea posible. Cuando el cohete despega, también se puede observar cómo en muchas ocasiones las placas de hielo que se han formado caen al suelo debido a las vibraciones, y de esa manera el cohete se libra de unos cuantos kilos de peso extra que no estaban invitados al viaje.



El cohete Soyuz-FG despega el 18 de octubre de 2003 con la misión TMA-3 tripulada a bordo. En la parte superior podemos ver la bandera de España, ya que dentro iba Pedro Duque en su segundo vuelo al espacio. Ese cohete Soyuz-FG y las versiones actuales son los herederos directos del R-7 que lanzó el Sputnik-1 al espacio en 1957. Imagen: NASA.

El Atlas V de Perseverance está listo para volar. Se aprecia cómo se forma una fumarola de vapor de agua debido a la salida del oxígeno gaseoso del tanque por la válvula de presión. Además podemos ver que el resto de la primera etapa está blanquecina debido al hielo que se condensa en su superficie. Imagen: NASA TV.

¿Cuántos modelos de cohetes hay en la actualidad?

A lo largo de los más de sesenta años de carrera espacial se han desarrollado cientos de modelos diferentes de cohetes, de todas las formas y tamaños imaginables, desde monstruos gigantescos hasta otros muy modestos y con poca capacidad de carga. Describirlos nos llevaría muchos libros completos, pero para que sus nombres te vayan sonando, aquí tienes una lista de los que están actualmente en funcionamiento, así como los que nos esperan en los próximos años. Estos son los cohetes capaces de llevar una carga hasta la órbita y que están en servicio en la actualidad (unos 43 modelos). Tienes marcado en negrita los más usados:

- Europa: **Ariane 5**, **Vega**, **Soyuz-ST**.
- EE. UU.: **Antares**, **Atlas V**, **Delta IV Heavy**, Minotaur I, Minotaur IV, Minotaur V, Minotaur-C, Pegasus.
- EE. UU. privados: Rocket 3, **Electron**, **Falcon 9**, **Falcon Heavy**, Launcher One.
- Rusia: Angara A5, **Proton-M**, **Soyuz-2**, **Soyuz-ST**.
- China: **Long March 2**, **Long March 3**, **Long March 4**, Long March 5, Long March 6, **Long March 7**, Long March 8, **Long March 11**.
- China privados: Ceres 1, Hyperbola-1, Jielong-1, Kaituozhe-2, **Kuaizhou-1**, OS-M1, Zhuque-1.
- India: **GSLV**, **PSLV**.
- Japón: Epsilon, **H-IIA**, SS-520.
- Irán: Qased, Simorgh.
- Israel: Shavit.
- Corea del Norte: Unha.

Y estos estarán disponibles en los próximos años:

- Europa: Ariane 6.
- EE. UU.: SLS, Vulcan.
- EE. UU. privados: Neutron, New Glenn, Starship.

- Rusia: Amur, Angara 1.2, Soyuz 5 (Irtysh), Yenisei.
- China: Long March 9.
- China privados: Kuaizhou 21.
- India: HLV, SHLV.
- Japón: H3.
- España: Miura 5.

¿Cómo es de grande un cohete?

Cuando hablamos de cohetes espaciales estamos hablando de ingeniería y de estructuras a lo grande. Por supuesto que hay cohetes «pequeños», pero todo depende de lo que consideremos pequeño. Un cohete siempre es una máquina de un tamaño imponente, y muchas veces, por falta de referencias, no llegamos a apreciar las verdaderas dimensiones que tienen y que son necesarias para poder lograr la proeza de enviar grandes cargas hasta el espacio a velocidades de varios kilómetros por segundo. Para clasificarlos se suele usar como referencia la capacidad que tienen para subir una carga a la órbita baja (LEO - *Low Earth Orbit*), es decir, que los clasificamos por la potencia que tienen para enviar pesos al espacio. De esta manera nos encontramos con:

- **Cohetes superpesados:** son los grandes monstruos, capaces de poner en órbita más de 50 toneladas. Entre ellos nos encontramos el histórico Saturno V y el Energia, el actual Falcon Heavy y los futuros Starship, SLS, Long March 9 y Yenisei. Solo unos pocos son elegidos.
- **Cohetes pesados:** los grandes caballos de carga de las agencias espaciales y que se usan para lanzar entre 20 y 50 toneladas al espacio, como grandes satélites o módulos de estaciones espaciales. En la actualidad tenemos en funcionamiento el Ariane 5 para Europa, el Delta IV Heavy en Estados Unidos, el Proton-M ruso, el Long March 5 chino y teóricamente el Falcon 9 de SpaceX y el Angara A5 ruso, aunque nunca han sido usados para enviar más de 20 toneladas en sus misiones. Otros cohetes que entraron en esta categoría fueron el Transbordador Espacial, el Saturno IB, el Titan IV, y otros que lo harán en el futuro serán el Vulcan de Estados Unidos, el Ariane 6 de Europa, el New

Glenn de Blue Origin, el H3 Heavy de Japón y el SHLV de la India.

- **Cohetes medios:** son aquellos cohetes capaces de subir a órbita entre 2 y 20 toneladas, generalmente satélites de todo tipo, y por tanto son mucho más numerosos y habituales que los pesados y superpesados. Entre los que están en funcionamiento se encuentran el H-IIA de Japón, el PSLV y el GSLV Mk II y III de la India, el Soyuz-2 y Angara 1.2 de Rusia, los Long March 2, 3, 4, 7 y 8 de China, el Atlas V, Antares y Falcon 9 de Estados Unidos. En desarrollo están el H3 japonés, el Irtysh ruso, algunas versiones menores del Ariane 6 europeo y el Neutron estadounidense, entre otros. Algunos modelos históricos son el Delta II, el Soyuz en muchas versiones, el Titan III y el Ariane 4, entre muchos otros.
- **Cohetes pequeños**: son todos aquellos que no consiguen subir más de 2 toneladas al espacio y que se suelen usar para lanzamientos de pequeños satélites y minisatélites, siendo en la actualidad un sector con una enorme competencia entre empresas privadas para quedarse con una parte del mercado de satélites pequeños. Todos los cohetes pioneros de la carrera espacial pertenecían a este grupo, como los Sputnik (el cohete, no el satélite) y el Vanguard. Los representantes actuales de este grupo son el Vega, el Electron, el Pegasus, el Safir, los Minotaur I y IV y los Long March 6 y 11. Para el futuro tendremos una enorme variedad disponible al incorporarse cohetes como los Vikram de la India, Tronador II de Argentina, el Miura 5 de España, así como los BSLV, Alpha y Terran de Estados Unidos.

El cohete pesado Delta IV Heavy (ULA) de 72 metros de altura y 740 toneladas está listo en su rampa de lanzamiento. Las hormiguitas que hay debajo son los técnicos del cohete. Imagen: KSC/NASA.

Para todos ellos hemos hablado de la carga útil que pueden subir a una órbita baja LEO, pero evidentemente cualquiera de ellos puede enviar cargas más arriba, hasta una órbita geosincrónica (GEO), hacia la Luna (TLI) o hacia Marte (MTO), pero con la consiguiente disminución del peso conforme queramos conseguir una órbita más alta y lejana. Por ejemplo, un cohete europeo Ariane 5 es capaz de enviar unas 20 toneladas a órbita baja, pero solo 10,8 toneladas a una órbita geosincrónica (donde están los satélites de telecomunicaciones), y hasta la Luna solo podría enviar una sonda de un máximo de 8 toneladas.

Entre los cohetes actuales (solo los orbitales y descartando toda la fauna coheteril china) más frecuentes y «pequeños» tenemos al Minotaur IV norteamericano con 24 metros de altura, unos 2,4 metros de diámetro y 86 toneladas de peso. También tenemos el Vega europeo con 30 metros de altura, 3 metros de diámetro y 137 toneladas de peso. Y por último el nuevo cohete privado Electron, con tan solo 17 metros de altura, 1,2 metros de diámetro y 12,5 toneladas de peso, aunque evidentemente posee una

capacidad de carga muy pequeña, incluso en comparación con otros pequeños. Junto con el Electron está llegando una nueva generación de cohetes de muy pequeñas dimensiones y económicos, pero que apenas tienen la potencia suficiente como para enviar cargas al espacio de unos 200-300 kg en comparación con los 1500-2000 kg del Vega o el Minotaur IV. Aun así, pensemos que uno de los cohetes más pequeños del mercado como el Vega tiene una altura equivalente a un edificio de 10 plantas y el peso de un Airbus A330-300.

En el otro extremo de la escala nos encontramos a los pesados y superpesados, que sobrepasan en cuanto a sus dimensiones y características todo lo que nos podamos imaginar. El histórico Saturno V que puso al ser humano en la Luna tenía una altura de 111 metros (la Estatua de la Libertad subida en el pedestal tiene 93 metros de altura y el Edificio España de Madrid alcanza los 117 metros), un diámetro para su primera etapa de 10 metros y una masa total de 3000 toneladas. Era capaz de enviar 140 toneladas a una órbita baja y hasta 50 toneladas a la Luna, por lo que es considerado el cohete más poderoso de la historia hasta la actualidad. Aunque probablemente se vea superado pronto por el Starship norteamericano y el Long March 9 chino, que en el futuro tendrán la misión de volver a llevar a los humanos hasta la Luna. Ahora imaginemos un estrecho y alto rascacielos de 37 plantas y con el peso de once Airbus A380 completos (es el mayor avión de pasajeros del mundo), encender unos motores que son capaces de levantar esa mole sobre el suelo unos kilómetros. Además poco a poco son capaces de irle proporcionando la velocidad suficiente como para situarse a 100 km de altura en menos de tres minutos, adquiriendo una velocidad de 10 800 km/h (o 3 km/s) en ese instante. Y unos 9 minutos más tarde alcanzarán la órbita a 200 km de altura, con una velocidad final de 28 000 km/h (o 7,8 km/s). Toda una burrada y que, sin embargo, es algo que todos los cohetes orbitales deben ser capaces de

conseguir para lograr el éxito.

¿Cuánto cuesta un cohete?

Ya te digo que barato no es. Y además suele ser un tema bastante discreto e incluso totalmente secreto en muchas ocasiones, por lo que la mayoría de los precios son estimativos y se deducen de filtraciones de contratos o haciendo cuentas con los presupuestos de las empresas y las agencias espaciales. Aun así, es complicado conocer lo que realmente cuesta un cohete, porque su diseño y desarrollo inicial suele tener un coste muy alto. Además hay que sumar luego el coste de construcción de cada uno de ellos (con materiales de altísima tecnología, extraordinariamente caros, pruebas intensivas y una enorme cantidad de profesionales altamente preparados), así que entramos en un campo pantanoso y sujeto a interpretaciones, pero que al menos nos permite saber de qué cantidades hablamos. Y por si fuera poco, el liderazgo en el mercado mundial de lanzamientos de satélites comerciales que sostenía Europa con su Ariane 5 y Rusia con el Proton se vino abajo por la irrupción en el mercado del reutilizable Falcon 9. Esto ha hecho que el resto de contendientes ponga los precios a la baja para poder competir un poco, y ha puesto en marcha desesperados planes para diseñar nuevos cohetes más económicos y que sean, al menos en parte, reutilizables. Una forma muy habitual de hablar del precio para enviar algo al espacio es usar el coste por kilogramo de carga, es decir, cuánto cuesta subir cada kilo al espacio en una órbita baja. Mientras que, por ejemplo, el Transbordador Espacial tenía un coste aproximado de 55 000 $/kg y que lo dejaba fuera del mercado comercial, un Ariane 5 ronda los 9200 $/kg y el Proton bajaba hasta los muy competitivos 4500 $/kg. Y ahora nos encontramos con la llegada del Falcon 9, que bajó el precio a los 2750 $/kg y su hermano mayor Falcon Heavy, que lo ha dejado en solo 1400 $/kg, lo cual supone un ahorro enorme para satélites que pueden pesar varias toneladas. Aunque también debemos tener en cuenta que estos precios se refieren

a dejar al satélite en una órbita baja, ya que enviarlos a órbita geoestacionaria puede multiplicar por dos o tres estos precios. Aunque claro, si el desarrollo de la Starship de SpaceX sale como está previsto, el coste por kilogramo podría quedarse en tan solo unos ridículos 10 $/kg, y aunque un precio final así es bastante improbable, con que sea capaz de bajar los precios hasta unos 100 $/kg, el acceso al espacio sí que estará al alcance de todo el mundo.

Un ejemplo de precio extremo lo tenemos en el nuevo cohete superpesado SLS de la NASA, que se usará fundamentalmente para misiones lunares o para el envío de sondas pesadas a otros planetas, y cuyo coste por cada vuelo se estima en unos escalofriantes 2000 millones de dólares. Y eso que no tenemos en cuenta que el coste de desarrollo del proyecto está estimado en cerca de 20 000 millones de dólares desde 2011 hasta 2021. Ya en el mercado comercial, estos son los precios aproximados del coste total para el lanzamiento de un cohete pesado, teniendo en cuenta que tienen características y capacidades de carga diferentes:

- Ariane 5: entre 140 y 180 millones de dólares.
- Ariane 6: entre 90 y 138 millones de dólares.
- Delta IV Heavy: entre 350 y 450 millones de dólares.
- Vulcan (sucesor Delta IV Heavy): entre 80 y 200 millones de dólares, según versión.
- Proton: 65 millones de dólares.
- Falcon 9: 62 millones de dólares uno nuevo y 50 uno ya usado.
- Falcon Heavy: 90 millones de dólares si se recuperan las etapas, o 150 si no hay posibilidad de recuperación.
- SLS: 2000 millones de dólares.

Para cohetes medios los costes aproximados son:

- Atlas-V: entre 110 y 120 millones de dólares.
- H-IIA: entre 90 y 100 millones de dólares.

- Soyuz (de Arianespace): 80 millones de dólares.
- Soyuz (de Roscosmos): 45 millones de dólares.
- Antares: 85 millones de dólares.
- GSLV: 50 millones de dólares (cargas gubernamentales de la India).
- PSLV: entre 20 y 30 millones de dólares (casi siempre para cargas nacionales de la India y minisatélites internacionales).

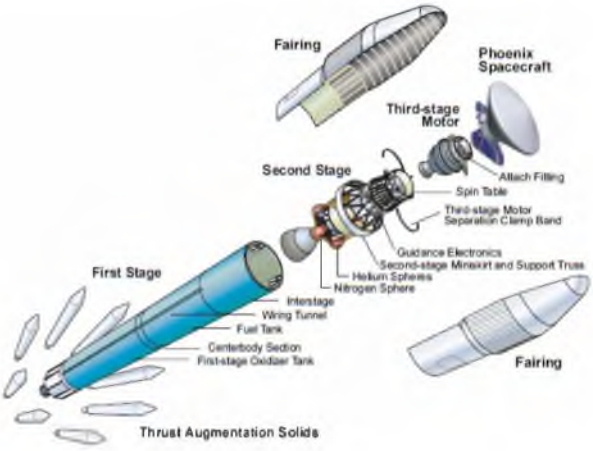
Y para cohetes pequeños los costes son:

- Vega (máx. 1450 kg): 37 millones de dólares.
- Minotaur IV (máx. 1700 kg): 50 millones de dólares.
- Electron (máx. 300 kg): 8 millones de dólares.

Con estos precios generalmente pueden enviar cargas al espacio los Gobiernos y agencias espaciales, así como las grandes empresas de comunicaciones de todo el mundo. Por suerte desde hace un par de décadas, y utilizando vuelos y gastos compartidos, son muchísimas las medianas empresas, instituciones y universidades que logran enviar sus propios satélites, minisatélites y cubesats (nanosatélites formados por uno o más módulos de 10 cm de lado) al espacio.

Muñecas rusas espaciales

Cuando vemos un cohete en una rampa de lanzamiento, en realidad estamos viendo más de uno, algo así como una muñeca rusa espacial. Todos los cohetes son multietapas, ya que en realidad están formados por varios cohetes unos encima de otros, literalmente. El motivo para fabricar esta «pirámide coheteril» es muy sencillo: es mucho más eficiente dividirlo en fases o etapas que hacer un gran cohete de una sola pieza. Si imaginamos que todo el conjunto que está en la rampa de lanzamiento es un solo cohete y lo enviamos hacia el espacio, conforme vamos ascendiendo el combustible se irá acabando y poco después tendremos unos enormes depósitos medio vacíos. Y un poco más adelante estaremos subiendo un enorme cohete con mucho peso inútil, acarreando tan solo un poco de combustible en unos gigantescos tanques vacíos. Así pues, los cohetes se diseñan y fabrican en «etapas» o fases, que son básicamente varios cohetes acoplados unos encima de otros, para que cuando el combustible se agote, nos podamos deshacer de esa parte al completo y continuar el viaje mucho más ligeros de peso, con unos tanques llenos y más pequeños, y por consiguiente podrá ascender con mucha más velocidad y eficiencia.



Esquema con las distintas etapas que forman un cohete Delta II. En la parte inferior podemos ver 8 «pequeños» cohetes sólidos que rodean a la primera etapa o principal (*first stage*), por encima tenemos la segunda etapa (*second stage*) y encima está la tercera etapa (*third stage*), que porta a la carga, en este caso la sonda Phoenix hacia Marte. La cofia (*fairing*) protege a la carga durante las primeras fases del lanzamiento del rozamiento atmosférico y proporciona aerodinámica al cohete. Imagen: NASA.

Por lo general, la primera etapa es la más grande y pesada, pues se encarga de poner en movimiento toda la enorme masa del conjunto incluyendo la suya propia, su combustible, el resto de las etapas superiores y la carga final que llevará al espacio. La primera etapa es todo un mulo de carga. Una vez que se encuentre a muchos kilómetros de altura y con una más que apreciable velocidad, se habrá acabado su combustible y por tanto se procederá a su separación para ahorrar unas cuantas toneladas de peso. Segundos después se enciende la segunda etapa, que suele tener un tamaño menor y que tomará el relevo en el ascenso. En la actualidad existen cohetes compuestos de entre dos y cuatro etapas y cada agencia espacial o compañía los diseña y construye en función de sus necesidades y de los motores que tenga disponibles. Además es muy frecuente la llamada «etapa 0» o «etapa en paralelo», consistente en uno o varios cohetes (generalmente de combustible sólido) que se acoplan alrededor de la primera etapa, para dotar al cohete de un mayor empuje en el despegue, siendo desechados cuando su combustible se agota.

Por supuesto un cohete por etapas tiene muchas ventajas, pero también tiene varios inconvenientes muy claros. Entre las ventajas tenemos que consigue enviar al espacio un objeto de masa mayor que un cohete similar sin etapas (esto ya es fundamental), también logra una velocidad final mayor y requiere unos motores menos eficientes para unos resultados similares. Como inconvenientes se encuentra un

aumento enorme de la complejidad, ya que necesitamos construir varios tanques de combustible adicionales e independientes. Además, siempre será necesario más cableado y tuberías, más motores, así como varias estructuras intermedias que sujeten con firmeza una etapa con la siguiente, pero que más tarde tendrán que separarse instantáneamente y por tanto suponen un coste mayor y más posibilidades de fallos. Como uno de los cohetes más curiosos de la actualidad tenemos el cohete Minotaur V de la compañía Northrop Grumman, que funciona con una configuración muy poco frecuente formada por cinco etapas, y además todas ellas de combustible sólido, similar a los SRB (los cohetes laterales del Transbordador o el SLS). Esto se debe a que el cohete deriva del misil intercontinental LGM-118 Peacekeeper y que, al igual que la mayoría de los misiles, funciona con combustibles sólidos para un mejor almacenamiento y sin necesidad de un mantenimiento criogénico del cohete. Con una altura de «tan solo» 24 metros (la altura de un edificio de 8 plantas, es un cohete más bien bajito) y con un peso de 90 toneladas, es capaz de llevar un satélite de 600 kg hasta la órbita geoestacionaria o uno de 350 kg hasta la Luna. Su vuelo inaugural ocurrió el 7 de septiembre de 2013 desde la base de lanzamiento MARS de la NASA, en Virginia, para llevar hasta la Luna a la sonda LADEE. El porcentaje de éxitos de este cohete es del 100 % ya que ese fue su primer y último lanzamiento hasta la fecha, aunque oficialmente sigue en activo y podría ser usado en el futuro.

El Minotaur V en la rampa de lanzamiento de Virginia en su única misión en 2013 para llevar la sonda LADEE hasta la Luna. Imagen: NASA.

Desde el suelo hasta el espacio

El lugar sagrado desde el que toda aventura espacial comienza es siempre la llamada base espacial (centro espacial o cosmódromo), lugar desde el que despegará el cohete rumbo al espacio (casi siempre, claro). Si queremos montar una base espacial, tendremos que cumplir una serie de requisitos estrictos de situación y de relación con el vecindario como son: estar lo más cerca posible del ecuador terrestre, que la base esté un poco alejada de zonas habitadas y si no es posible, que al menos en dirección este haya un océano o una zona desértica. En resumen, es más o menos como cuando nos vamos a comprar un piso y queremos que sea céntrico, con pocos vecinos alrededor que molesten y con vistas despejadas al horizonte. Y como suele pasar con los pisos, al final nos conformamos con algunos requisitos menos, sobre todo si montamos la base espacial en una dictadura a la que no le importa mucho la gente. La cercanía al ecuador se entiende porque mientras más cerca estemos de la latitud 0°, mejor podremos aprovechar la rotación terrestre para que nuestro cohete coja más velocidad y además harán falta menos maniobras en el espacio si nuestro satélite es geoestacionario (ya que tendrá una inclinación de 0° respecto al ecuador terrestre). Lo de tener pocos vecinos es por precaución, puesto que si el cohete decide ese día que no quiere ir al espacio, nos hará falta una zona donde caigan los restos de la explosión sin causar daños a personas o propiedades. El requisito de tener zonas despejadas hacia el este se debe a que los lanzamientos se harán en muchas ocasiones en esa dirección, para aprovechar la rotación de nuestro planeta a nuestro favor. En el mundo han existido cientos y actualmente hay decenas de bases espaciales en funcionamiento, siendo las más conocidas en la actualidad las de Baikonur en Kazajistán, Plesetsk en Rusia, el Centro Espacial Kennedy y Cabo Cañaveral en Florida, Vandenberg en California, Mid-Atlantic Regional Spaceport en Virginia, Kourou en la Guayana

Francesa, Alcántara en Brasil, Xichang y Jiuquan en China, Tanegashima y Uchinoura en Japón, Satish Dhawan en India y Mahia en Nueva Zelanda.

Dentro de la base espacial son necesarios uno o varios **complejos de lanzamiento** dedicados a cada modelo de cohete que se lanzará desde esa base, ya que cada uno tendrá unas necesidades específicas de traslado, soporte y combustible. Cada complejo suele tener una **torre de lanzamiento,** que servirá para acceder al cohete para realizar reparaciones, mantenimientos e inspecciones, para el acceso a la carga o de los tripulantes, así como para llevar líneas eléctricas, de datos y de combustible hasta el cohete. También nos encontraremos con **una plataforma de lanzamiento,** sobre la que se apoya físicamente el cohete y que suele ser móvil, unas enormes **trincheras** o túneles para dirigir hacia el exterior las llamas y el humo, un **sistema de amortiguación** de ruido y vibraciones por agua, **pararrayos** y **depósitos de propelentes**.

La gigantesca torre de lanzamiento móvil Mobile Launcher 1 del cohete SLS de la NASA en el complejo de lanzamiento 39B está lista para su misión. Está rodeada de tres enormes pararrayos, un depósito de agua a la derecha para amortiguar el ruido del lanzamiento y un depósito de oxígeno líquido al fondo. Imagen: NASA.

El sistema de supresión de sonido de la plataforma de lanzamiento 39B de la NASA en el Kennedy Space

Center es una estructura tremendamente espectacular, que ha sido usada en las pasadas décadas por el cohete Saturno V y el Transbordador Espacial y que será usada en los próximos años para los vuelos del cohete SLS. El objetivo de este sistema es sencillo: se dedicará a lanzar enormes cantidades de agua sobre la plataforma lo más rápido posible, para que en el momento del lanzamiento el agua consiga amortiguar el ensordecedor ruido producido en el despegue y que podría llegar a reventar el cohete y la propia plataforma por las vibraciones producidas. Unos veinte segundos antes del encendido de los motores y durante medio minuto se vierten en la plataforma un total de 1,7 millones de litros de agua (1700 m^3 o media piscina olímpica) con un pico máximo de 63 100 litros por segundo. Con la presencia del agua en la plataforma se logra amortiguar buena parte de los 176 decibelios que se pueden alcanzar durante el despegue en los alrededores de la torre y que podrían destruir todo a su alrededor debido a las ondas de presión generadas en el lanzamiento.

Cada uno de los cuatro gigantescos surtidores de 3,7 metros de altura del sistema de supresión de sonido que rodean la plataforma móvil y la torre de lanzamiento son capaces de lanzar 16 000 litros de agua por segundo para evitar la destrucción del cohete debido a las vibraciones producidas por el ruido del lanzamiento, bajando los decibelios de 176 a

menos de 142. Imagen: NASA.

Una vez superada la plataforma de lanzamiento, el cohete deja de subir en vertical, ya que al contrario de lo que mucha gente suele pensar, los cohetes no suben al espacio hacia arriba directamente, sino que a pocos cientos de metros sobre el suelo ya van inclinándose y describiendo una curva en el cielo. ¿Pero qué me estás contando? Pues lo que oyes, porque piensa que la Tierra es redonda (sí, en pleno siglo XXI seguimos con esas) y que en el aire y en el espacio no son posibles las maniobras tipo «derrape» o giros bruscos que vemos en las películas, por lo que desde un primer momento el cohete tuerce su ascensión para ir tomando la forma curva de la superficie terrestre. Este movimiento no puede ser tampoco muy brusco, puesto que el cohete se partiría por la mitad por su propio peso, sino que gracias al balanceo de sus motores se va orientando poco a poco conforme sube. Esto también evita viajar demasiado tiempo por las capas bajas y densas de la atmósfera, de forma que cuando llegue a unos 150-200 km de altura se encuentre completamente horizontal y con la región más densa de la atmósfera ya superada.

Un momento curioso del ascenso, y que se suele destacar en las retransmisiones de los lanzamientos, es el evento conocido como «Max Q» o el momento de «máxima carga aerodinámica», que en lenguaje llano es el momento en el cual el cohete siente la máxima presión contra su estructura por parte de la atmósfera y por tanto cuando es más probable que quede como una pasa. Pensemos que cuando el cohete está despegando la densidad del aire es muy alta pero su velocidad es muy baja, por lo que no siente demasiada presión. Cuando el cohete ya está muy alto y adquiere mucha velocidad, la densidad atmosférica ya es muy baja, por lo que tampoco sentirá excesiva presión. Así pues, hay un momento en todo lanzamiento, que suele ocurrir aproximadamente un minuto y unos pocos segundos después del despegue, en el que la velocidad ya es bastante alta pero además la densidad

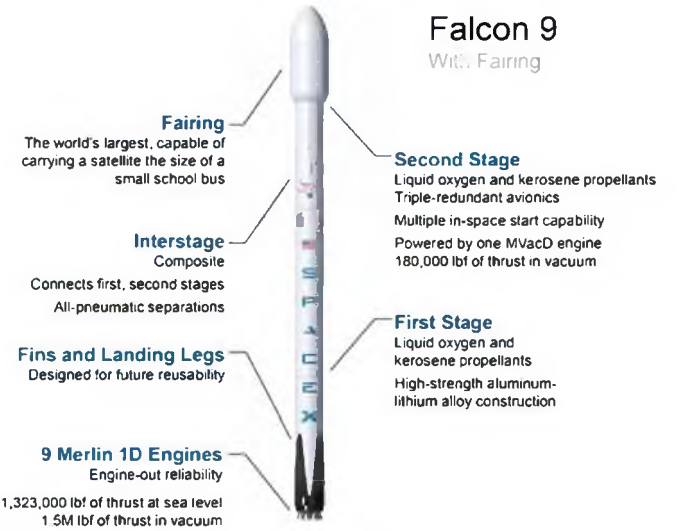
atmosférica sigue siendo bastante apreciable, por lo que la presión sobre el cohete será máxima y ese será el momento llamado «Max Q». Para el Transbordador Espacial ese momento crítico se situaba 50 segundos después del lanzamiento, a 11 km de altura y con una densidad de 0,32 atmósferas, lo que obligaba incluso a bajar la intensidad de los motores principales y de los motores sólidos al 65 % para evitar la destrucción de la nave. Para cohetes como el Falcon 9 o el Saturno V este momento llega sobre los 11-14 km de altura y con unas 0,3 atmósferas de presión, a velocidades cercanas a los 400 m/s o 1440 km/h.

Falcon 9, un cohete para la historia

Los cohetes son máquinas muy caras, ya que hasta que llega el momento de tenerlos plantados en la plataforma de lanzamiento hacen falta muchos años de diseño, infinidad de pruebas, se usan materiales muy caros para su construcción, se desarrollan tecnologías del máximo nivel y se contrata a cientos o miles de personas que llevan a cabo su desarrollo. Y por si fuera poco, el mayor problema de todo esto es que nunca se han podido reutilizar, básicamente son máquinas gigantescas y carísimas de «usar y tirar». La reutilización de cohetes ha sido una utopía durante décadas y se consideraba algo imposible. Cuando una etapa se consume por completo ya está tan alta y tan lejos, que al descender se quema en la reentrada atmosférica. Y tampoco había ningún sistema que permitiera realizar un descenso con delicadeza a una masa de decenas de toneladas, desplazándose a varios kilómetros por segundo a unos 100 km de altura. Cualquier sistema imaginable para recuperarlas como pudiera ser añadirle paracaídas, realizar un descenso planeando o reencender los motores era ciencia ficción, puesto que el peso extra que tenía que llevar para recuperarlos hacía ya inviable el cohete.

Y las soluciones más sencillas no eran posibles tampoco para la tecnología existente en las últimas décadas. De hecho, el único elemento reutilizable hasta hace unos pocos años en toda la historia de la astronáutica fueron los cohetes sólidos (SRB) del Transbordador Espacial, que se separaban a unos 50 km de altura y eran recuperados en el océano tras un descenso en paracaídas. Aparte por supuesto del propio Transbordador, que volvía a nuestro planeta como un planeador. Pero para el resto de cohetes ordinarios era tarea imposible. Bueno, imposible hasta hace muy poco, ya que el avance de la tecnología, de nuevos materiales y de la astucia de los ingenieros de SpaceX lograron algo que nadie creía posible: ser capaces de recuperar la primera etapa de un cohete. Esto ha permitido que pueda volver a ser

usada de nuevo, evitando la construcción de nuevas unidades y logrando unos lanzamientos mucho más baratos y frecuentes que hasta la fecha.



Esquema del Falcon 9. De arriba a abajo: cofia protectora, segunda etapa, interetapa, primera etapa, patas de aterrizaje y 9 motores Merlin 1D. Imagen: TESS/GSFC/NASA.

En 2008 el Falcon 1 (que no era reutilizable) se convirtió en el primer cohete privado que llegaba a la órbita terrestre. Y en esa misma época la NASA ya apostó por esta compañía, proporcionándole los fondos necesarios para diseñar y construir naves de carga a la Estación Espacial con el cohete Falcon 9, cuando aún no existía ni la nave de carga ni el propio cohete. El primer Falcon 9 voló el 4 de junio de 2010, enviando al espacio con éxito una nave de carga de pruebas. En septiembre de 2013, durante el sexto vuelo del cohete, se hizo por primera vez una prueba de descenso de la primera etapa, aunque acabó estrellándose en el mar como estaba previsto al ser un ensayo. En abril de 2014, durante la novena misión, se dio un paso más y se realizó una caída controlada de la primera etapa hasta tocar la superficie del mar, demostrando que una recuperación era posible. Tras

dos zonas de aterrizaje en Cabo Cañaveral llamadas LZ1 y LZ2 (*Landing Zone*) y construyó dos barcazas que actuarían como plataformas de aterrizaje en alta mar, con unas dimensiones de 90 x 50 metros a las que llamó «Just Read the Instructions» («Solo lee las instrucciones») y «Of Course I Still Love You» («Por supuesto que todavía te amo»). Estas plataformas son desplazadas para cada lanzamiento a unos cientos de kilómetros de la costa de Florida o California, para que sirvan como pista de aterrizaje de los cohetes. En el vuelo n.º 14 de enero de 2015 y el n.º 17 en abril de 2015 se intentó aterrizar en una de las plataformas marinas, pero la etapa explotó en el aterrizaje en ambos casos. Como quien la sigue la consigue, finalmente el 22 de diciembre de ese mismo año, en el vuelo n.º 20 la primera etapa del Falcon 9 entraba en la historia al aterrizar con éxito en Cabo Cañaveral en la LZ1. En el vuelo n.º 23 de abril de 2016, la primera etapa (n.º de serie B1021) logró por fin un aterrizaje con éxito en la plataforma marina.

Cuando se ve aterrizar en una plataforma no se llegan a apreciar bien las dimensiones del cohete, pero aquí podemos observar el descomunal tamaño de la parte inferior de la primera etapa del cohete Falcon 9 y de las tres patas de aterrizaje en comparación con varios trabajadores en la plataforma marina de aterrizaje. La altura de esta primera etapa recuperable es de 48 metros, un poco más alta que la Estatua de la Libertad (46 m). Imagen: NASA-KSC.

Esta etapa entraría en la historia de nuevo en marzo de 2017, al convertirse en el primer cohete que fue lanzado al espacio por segunda vez, abriendo una nueva era en la exploración espacial. Desde entonces, el ritmo de recuperación y de reutilización de primeras etapas para nuevos vuelos ha aumentado espectacularmente, y en la actualidad casi todas las primeras etapas son recuperadas. Todas excepto aquellas cuya carga es extremadamente pesada y por tanto se lanzan incluso sin patas de aterrizaje para ahorrar peso y poder dejar la carga en órbita usando todo el combustible posible. La versión actual de las primeras etapas, conocida como «Block 5», está diseñada para volar hasta 10 veces sin necesidad de realizar grandes revisiones y hasta un total de 100 veces con la sustitución de las partes más desgastadas. De hecho, el 9 de mayo de 2021 se logró un nuevo hito ya que la primera etapa (n.º de serie B1051) fue lanzada y recuperada con éxito por décima vez. Esta etapa realizó todos sus vuelos entre marzo de 2019 y mayo de 2021 en las misiones Dragon Demo-1, RCM, Starlink 3, Starlink 6, Starlink 9, Starlink 13, SXM-7, Starlink 16, Starlink 21 y Starlink 27, a veces con un periodo entre dos vuelos de tan solo 38 días.

La primera etapa del Falcon 9 en la plataforma de aterrizaje LZ-1. A su izquierda tenemos un técnico, con el que podemos comparar tamaños. Imagen: Pixabay/NASA.

Actualmente el Falcon 9 tiene una buena parte del mercado comercial de lanzamiento de satélites y además ha comenzado a lanzar también satélites militares y científicos. Por si fuera poco, está poniendo en órbita la mega constelación Starlink y realiza vuelos de abastecimiento a la Estación Espacial Internacional. En 2020 permitió a los Estados Unidos reanudar sus vuelos tripulados con el envío de astronautas a la ISS por primera vez desde la retirada del Transbordador Espacial en julio de 2011.

¿Qué es Starship?

Desde el año 2020 comenzamos a escuchar en los medios de comunicación los planes y proyectos para un revolucionario cohete llamado Starship que pertenece a la empresa SpaceX de Elon Musk. Este polémico empresario es además el creador de los coches autónomos y eléctricos Tesla, de la constelación de satélites Starlink que sobrevuelan el cielo en hileras muy llamativas, del cohete reutilizable Falcon 9 y del supercohete Falcon Heavy, que llevó un coche deportivo rojo hasta el espacio en su vuelo inaugural de febrero de 2018. Así que como todo lo que hace este señor, no podía ser algo discreto, sino todo un espectáculo. Starship no pretende ser un cohete más, sino el cohete más poderoso jamás construido y además 100 % reciclable. La idea es que pueda volver a ser usado en numerosas ocasiones, con un mantenimiento sencillo y que además nos permita viajar al espacio de forma mucho más económica. Pero además también nos permitirá llevar astronautas hasta la Luna, a Marte e incluso que pueda ser utilizado como medio de transporte aéreo en nuestro planeta, permitiendo vuelos a cualquier lugar del planeta en cuestión de minutos. Demasiado bonito, ¿no? Pues en ello andan, y para lograrlo desde 2018 están construyendo en la localidad de Boca Chica (Texas) su propio puerto espacial, donde en una actividad frenética y sin pausa ensamblan prototipo tras prototipo bajo la atenta mirada de varios canales espaciales de YouTube (busca sin falta a LabPadre, NASASpaceflight, Everyday Astronaut, SpaceX Pink y Cosmic Perspective), que suben diariamente nuevos vídeos y conexiones en directo con los vuelos de prueba y los avances.

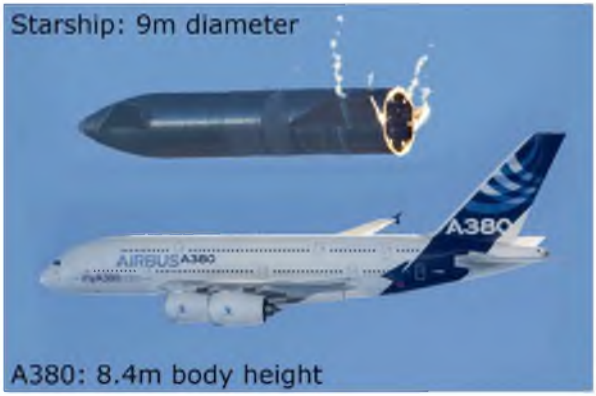
Con el pequeño vuelo (más bien salto) inicial en diciembre de 2018 de un prototipo llamado Starhopper y tras varias pruebas destructivas (para comprobar la resistencia de los tanques), le siguieron algunos vuelos a pocos metros de altura de prototipos muy básicos. El 9 de diciembre de 2020 despegó el

modelo SN8, que ascendió sin problema hasta los 12,5 kilómetros de altura, apagó sus motores, se reorientó «de panza» y comenzó una caída libre controlada hasta llegar a unos 200 metros sobre el suelo. En ese momento, los motores se encendieron para colocarse nuevamente en vertical y, tras un giro brusco, debía aterrizar de pie a pocos metros de la torre de lanzamiento. Sin embargo, la velocidad final fue demasiado alta y el SN8 se destruyó contra el suelo. Lejos de ser un fracaso, a todos los que vimos la prueba en directo nos puso los pelos de punta, porque pudimos ver algo que hasta la fecha se había considerado ciencia ficción y ese día se hizo realidad, aunque fallara por muy poco. Desde ese día se puso en marcha una nueva, arriesgada e increíble fase de la historia de la astronáutica, por lo que los fallos son algo muy esperable y el único camino para lograr un éxito en el futuro. El SN9 voló con éxito el 2 de febrero de 2021, sin embargo, no logró reorientarse en el descenso final y también se estrelló en horizontal contra el suelo. El 4 de marzo le tocó el turno al SN10, que hizo todo un vuelo perfecto con la subida, la caída en horizontal, el giro para aterrizar y por fin logró aterrizar de una pieza. Como el aterrizaje fue algo más rápido de lo esperado, se produjo una fuga de combustible y el posterior incendio acabó con el prototipo, explotando en miles de pedazos. El 30 de marzo, y en medio de una densa niebla, se lanzó el SN11, que realizó el vuelo con normalidad, pero en el descenso final uno de los motores falló y causó la desintegración completa de la nave en el aire. Tras realizar numerosas mejoras, el prototipo SN15 fue lanzado el 5 de mayo de 2021 y tras subir hasta los 10 km de altura, realizó un descenso perfecto y un aterrizaje suave por primera vez en la historia.

El cohete Falcon 9 en la rampa de lanzamiento el 16 de noviembre de 2020, preparado para enviar a la Estación Espacial a la tripulación Crew-1. La primera etapa del cohete es totalmente recuperable y va desde la base inferior hasta la interetapa (la estructura de color negro que está en la parte superior del cohete bajo el logo de la NASA). Imagen: KSC/NASA.

Hay que tener en cuenta que estas enormes Starships (con una altura de 50 m) no son el cohete completo, sino tan solo la segunda etapa. La idea de SpaceX es seguir mejorando el diseño y rendimiento de Starship, que irá acoplada encima de la primera fase, llamada Super Heavy, y que tendrá una altura de

72 metros. Esa gigantesca etapa será la encargada de enviar a Starship hasta la órbita terrestre, donde llevará astronautas o cargas pesadas. En total el cohete Starship (primera etapa Super Heavy + segunda etapa Starship) tendrá una altura superior a los 122 metros, el equivalente a un edificio de 40 plantas.



Comparación de los tamaños de Starship y un Airbus A380, el avión de pasajeros más grande del mundo. Starship tiene 9 metros de diámetro y 50 de alto y será usada como segunda etapa del cohete también llamado Starship (de 122 metros de alto en total) para el transporte de carga y personas al espacio, La Luna, Marte y cualquier lugar con suelo de nuestro planeta. Imagen: 9gag, usuario: Awesome.

Por si fueran pocas las expectativas y esperanzas puestas en este cohete, la NASA seleccionó en abril de 2021 a la Starship como la nave que permitirá la vuelta de los seres humanos a la Luna, para comenzar una nueva fase de exploración de nuestro satélite. Aunque los planes pueden cambiar, la idea es enviar la Starship hasta la órbita de nuestro planeta, donde será recargada de combustible por otra Starship y desde allí pondrá rumbo a la órbita lunar para acoplarse a la Estación Espacial Lunar Gateway. Allí los astronautas pasarán al interior de Starship para realizar el descenso a la Luna, llevando consigo

enormes cantidades de materiales, rovers y en el futuro algunos módulos para montar una primera base lunar. El futuro es para soñar y esto no ha hecho más que comenzar.

La versión lunar de la Starship posada en la Luna. En abril de 2021 la NASA seleccionó a esta nave para llevar a los próximos humanos (encuéntralos debajo del cohete) hasta la superficie de nuestro satélite. Imagen: Steve Jurvetson. Attribution-Share Alike 4.0 International. (CC BY-SA 4.0).

Capítulo 3

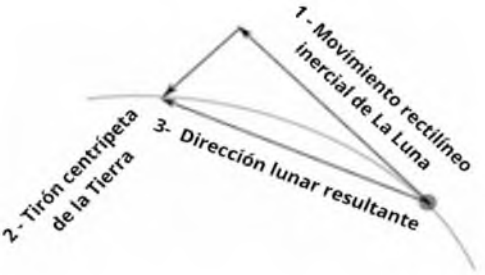
La vuelta al mundo en 90 minutos. Historias de las órbitas

¿Por qué la Luna no se cae sobre nuestras cabezas?

Bueno, ya que sabemos cómo funciona un cohete y somos capaces de llegar hasta el espacio, es momento de comprender cómo funcionan las cosas por allí arriba. Veremos por qué flotan los astronautas, por qué no se nos cae la Luna encima o qué velocidad debo tener para permanecer en órbita.

Anteriormente ya hemos visto como Newton nos llevaba hasta lo alto de una montaña para disparar cañonazos y colocar un proyectil en una órbita alrededor de nuestro planeta. Ahora que hemos llegado al espacio, pensemos un poco más en este tema y hagámonos unas preguntas: ¿por qué ese objeto lanzado a la órbita no se cae hacia abajo si la Tierra lo atrae con su fuerte gravedad? ¿Y por qué la Luna no se cae sobre la Tierra de la misma manera? Si nuestro planeta y la Luna son dos objetos tan grandes que se atraen con mucha fuerza, ¿por qué no se caen y acaban chocando entre sí? Bien, sabemos que la distancia a la que se encuentra nuestro satélite es de unos 380 000 km, y a esa distancia la gravedad de nuestro planeta la atrae con una aceleración de tan solo 2,7 mm/s^2 (y no de 9,8 m/s^2 como a nosotros). Ya vimos anteriormente que la fuerza de la gravedad disminuye con la distancia, y por tanto pasamos de hablar de una caída medida en metros a otra medida en milímetros. Es decir, que la Luna en realidad sí que está cayendo hacia nuestro planeta, pero a una velocidad increíblemente lenta, bajando algo menos de 3 mm el primer segundo y teóricamente aumentando su velocidad segundo a segundo. ¿Y por qué no cae entonces hacia nosotros, aunque sea así de despacito? Pues porque la Luna además de estar cayendo, está en un movimiento de giro alrededor de la Tierra. Ese giro lo realiza a una velocidad de 1 km/s y por consiguiente también tiene una inercia que la empuja «hacia fuera» y tiende a escapar para seguir moviéndose en línea recta (primera ley de Newton) en un ángulo de 90° respecto al de la caída contra nuestro planeta. Es decir, que la Tierra la atrae hacia abajo

por un lado y ella tiende a irse de nosotros debido a su velocidad en órbita. La combinación de esas dos fuerzas provoca que sea un «ni para ti, ni para mí» y vaya trazando una trayectoria curva alrededor de la Tierra. ¡Ya tenemos nuestra órbita estable para la Luna! Una órbita no es más que la trayectoria que describe un objeto que se mueve muy veloz tratando de escapar, pero que es atraído por un objeto más pesado, en un intento inútil de fuga.



Nuestra Luna sigue un movimiento rectilíneo en el espacio (1), pero la fuerza de la gravedad terrestre la atrae (2) y como resultado nuestro satélite acaba realizando una curva sin fin (3), cayendo a nuestro planeta pero siempre a la misma distancia. Eso mismo es aplicable para cualquier objeto que orbite alrededor de otro. Imagen: NASA/elaboración propia.

Como experimento casero podemos atar una piedra a una cuerda. Si la hacemos girar con fuerza alrededor de nosotros la cuerda impide que la piedra salga disparada, como podremos comprobar si cortamos la cuerda en un momento dado. En este caso la cuerda hace el papel de la gravedad (que la mantiene atraída hacia el centro), y cortando la cuerda comprobamos cómo la piedra sigue su inercia y escapa hacia afuera debido a la velocidad que lleva. Acabamos de ver cómo esta nueva fuerza combinada (la inercial debido al movimiento para escapar junto con la fuerza centrípeta hacia la Tierra provocada por la gravedad) evita que la Luna salga disparada hacia el espacio o que caiga hacia nosotros. Por tanto la Luna queda atrapada en una caída continua, eterna y

constante hacia nuestro planeta pero sin llegar nunca a él, siendo este otro misterio resuelto por la ciencia desde hace ya algunos siglos.

Una órbita al fin y al cabo no es más que un delicado equilibrio entre la inercia y la gravedad, en una balanza que podremos modificar a nuestro antojo cuando hablemos de satélites espaciales y que nos permitirá alterar sus órbitas a nuestra conveniencia. Como decía la primera ley de Newton, un objeto se mantiene en movimiento recto y constante hasta que se aplique una fuerza sobre él. Si la Luna o cualquier otro cuerpo celeste o artificial estuviera en un lugar del cosmos sin otros objetos cercanos, se seguiría moviendo en línea recta. Pero con la presencia de nuestro planeta, el movimiento se curva al ser atraído por la gravedad. Si la velocidad que lleva el objeto es lenta, la gravedad ganará el pulso y el objeto bajará su órbita o caerá a la superficie terrestre. Pero si la velocidad del objeto es grande o la aumentamos artificialmente, la gravedad terrestre no tendrá fuerza suficiente como para atraparlo. Tras curvar su trayectoria, el objeto subirá su órbita o se alejará de nuestro planeta a toda velocidad. De hecho esta es la forma en la cual se viaja por el espacio y por el sistema solar, dotando a nuestros satélites y sondas espaciales de motores que les aporten una mayor o menor velocidad. Esto les permitirá quedar en órbita de otro mundo, escapar de él o de caer a su superficie, algo que veremos un poco más adelante.

¿Y por qué flotan los astronautas dentro de su nave?

Ahora pensemos otra cosa. ¿Por qué los astronautas que están en la Estación Espacial a 380 km de altura flotan en el espacio? ¿Por qué sienten ingravidez si están tan cerca de nuestro planeta? ¿Ya no se siente la gravedad de la Tierra a esa altura? Evidentemente a 380 km de altitud la gravedad de la Tierra es más que apreciable y si un objeto inmóvil lo pudiéramos soltar a esa altura, caerá hasta estrellarse contra el suelo. Sin embargo, como hemos visto, la velocidad que lleva un objeto en órbita alrededor de nuestro planeta hace que no caiga y lo mantiene orbitando. Entonces, ¿qué pasa con los astronautas? Como te estarás imaginando, lo que ocurre es que cuando te encuentras en órbita, en realidad estás en una continua caída libre, como cuando caemos en una montaña rusa o al saltar desde un trampolín a la piscina.

Fotografía de la astronauta Tracy Dyson flotando delante del impresionante ventanal del módulo Cupola de la Estación Espacial, durante la Expedición 24 en 2010. Imagen: NASA.

Durante el tramo de caída sentimos una gravedad de 0 g y literalmente estamos flotando sin gravedad, o mejor dicho, con microgravedad. Los astronautas y todos los objetos dentro de la nave en su viaje orbital

se encuentran cayendo a nuestro planeta todo el rato. Pero a diferencia del trampolín o la montaña rusa, donde hay un momento en el que llegamos al suelo, la velocidad de inercia que lleva la nave los desplaza un poco más allá de nuestro planeta, siguiendo su curvatura. Como resultado siempre están cayendo, pero manteniendo la misma altura respecto a la superficie de la Tierra, de esta forma se mantienen siempre en gravedad cero flotando dentro de la nave.

Los límites de velocidad en las órbitas

Antes vimos que la Luna se encuentra a una distancia de 380 000 km y que era atraída hacia la Tierra con una pequeña aceleración. Pero que no se caía sobre nosotros porque estaba girando alrededor nuestra intentando escaparse, y esa huida quedaba compensada por la atracción de la gravedad terrestre. Para lograr ese equilibrio, la Luna se desplaza alrededor de nuestro planeta a una velocidad de 1 km/s (o 3600 km/h), lo que le permite permanecer orbitando a esa altura, al igual que cualquier otro objeto que queramos poner a orbitar en nuestro planeta a esa distancia. Como ya sabemos, conforme nos acercamos a la Tierra la gravedad aumenta su poder, por lo que será necesario que viajemos más deprisa para mantenernos en equilibrio en nuestra órbita. A una altura de 36 000 km, que es la usada por los satélites geoestacionarios de comunicaciones, la velocidad necesaria ronda ya los 3 km/s (10 800 km/h). A unos 400 km de altura, que es donde está la Estación Espacial, la velocidad necesaria es de 7,7 km/s (27 700 km/h). Y en órbita baja a unos 200-250 km, la velocidad para mantenerse en órbita es de 8 km/s (28 800 km/h). ¿Recordáis el ejemplo de la bala de cañón en la montaña de Newton? Pues ahí hemos vuelto de nuevo porque necesitaremos que nuestros satélites (las balas de cañón) viajen a 8 km/s para seguir la curvatura de la Tierra y mantenerse en órbita. ¡Viva Newton!

La propia Estación Espacial Internacional (ISS) también tenía sus carteles limitadores de velocidad colocados en su módulo Unity. No deben sobrepasar los 28 000 km/h bajo pena de multa de la Guardia Civil Espacial. Imagen: NASA.

Resumiendo, ya sabemos que a mayores distancias de nuestro planeta la fuerza de la gravedad es menor y, por tanto, un satélite que esté más alejado de la Tierra podrá viajar a una velocidad orbital menor que otro más cercano para mantenerse en una órbita. De hecho, una órbita es simplemente un equilibrio entre la gravedad y la velocidad que lleva. Y una vez en órbita no hace falta más propulsión para mantenerse (a no ser para realizar pequeñas maniobras), por eso a nuestra Luna no le hacen falta motores para permanecer girando alrededor nuestro.

OBJETO	ALTURA SOBRE LA TIERRA	VELOCIDAD (KM/S)
Satélite en órbita baja	200 km	8
Estación Espacial	420 km	7,7
Satélite geoestacionario	35 800 km	3
La Luna	380 000 km	1

Velocidad orbital en función de la altura.

¿Y cuánto tiempo tarda un satélite en dar la vuelta a nuestro planeta?

Bueno, la respuesta a esta pregunta, como imaginarás, no es ninguna cantidad fija, porque todo depende de la altura y de la forma que tenga la órbita, ya que la mecánica orbital puede llegar a ser muy compleja. Para hacer los cálculos de forma simplificada se usan las leyes de Kepler propuestas a inicios del siglo XVII. Estas leyes nos permiten conocer el centro o foco de una órbita (primera ley), las áreas recorridas por unidad de tiempo (segunda ley) y el periodo de una órbita en función de la distancia (tercera ley). Con las fórmulas de estas leyes y con un poco de matemáticas, podemos calcular el llamado «periodo orbital», el tiempo que tarda en realizar una órbita un planeta, un satélite natural o artificial que se encuentre en el espacio, ya sea en una órbita circular o elíptica (una órbita elíptica es cualquier órbita que no sea circular, sino que tenga forma de elipse). Si un satélite que orbita alrededor de nuestro planeta tiene una órbita muy elíptica o excéntrica, necesitaremos hacer cálculos un poco más complejos para conocer el tiempo que emplea en recorrer toda la órbita. Por simplificar, supongamos que tenemos un satélite en una órbita circular a 400 kilómetros de altura. Como conocemos el radio, a esa distancia la órbita tiene una circunferencia o longitud total de 42 588 km y nuestro satélite tardará un total de 92 minutos en recorrerla viajando a 7,67 km/s. Si tenemos otro satélite a 1000 km de altura, su órbita será de 46 357 km (evidentemente más larga) y además su velocidad orbital ha bajado hasta los 7,37 km/h, por lo que tardará un total de 105 minutos en recorrerla por completo. Además tardará lo mismo, independientemente del tamaño o masa del satélite. Conforme adquiramos una órbita más alta, la velocidad que necesitaremos para estar en ella será menor y la distancia a recorrer será mayor, por lo que el periodo orbital aumentará siempre. Cuando en los medios de comunicación aparece alguna información

sobre la Estación Espacial, su órbita siempre estará por debajo de los 400 kilómetros de altura y por tanto su periodo orbital suele estar entre los 90 y 92 minutos. Esto permite a los astronautas tener el privilegio de contemplar 16 atardeceres y 16 amaneceres cada día.

OBJETO	ALTURA SOBRE LA TIERRA	PERIODO ORBITAL
Satélite en órbita baja	200 km	88 min
Estación Espacial	420 km	92 min
Satélite geoestacionario	35 800 km	23 h 56 m
La Luna	380 000 km	27 d 7 h

Periodo orbital en función de la altura.

La órbita circular que hemos usado como aproximación es una órbita ideal y completamente «redonda», en la cual siempre nos movemos a la misma distancia del objeto que estamos orbitando, ya sea un planeta, una luna o el Sol. En una órbita circular la velocidad siempre será constante, ya que nuestra distancia al centro del objeto que sobrevolamos nunca varía (volamos con altura constante). En la práctica las órbitas circulares perfectas no existen, pero muchas veces las denominamos cuando la diferencia entre la altura mínima y la máxima es muy pequeña.

Las órbitas reales son elípticas

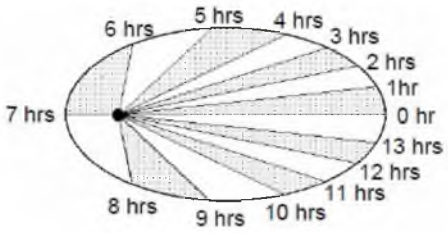
Lo normal es encontrarnos con las llamadas órbitas elípticas, que son aquellas órbitas más o menos achatadas (casi excéntricas, en función de la proporción existente entre los «semiejes» de la elipse) respecto a un círculo y cuya distancia al objeto que orbitamos irá variando de forma continua. Con otro poquito más de matemáticas y las leyes de Kepler también podremos calcular los periodos orbitales para estas órbitas elípticas y, como nos dicen estas leyes, la velocidad del satélite no será la misma durante toda la órbita. La velocidad será menor cuando el satélite esté muy alejado en su recorrido e irá aumentando conforme vaya acercándose al objeto orbitado.

Este detalle es importante y podemos comprenderlo mejor con un ejemplo sencillo. Si tenemos un *skater* (aclaración para los más veteranos: un *skater* es algún joven que va con monopatín) que se lanza por la rampa de una pista de *skate* en forma de U, irá cogiendo velocidad en el descenso hasta que llega a la parte inferior a máxima velocidad, para luego irla perdiendo poco a poco al subir de nuevo por la rampa de la pared de enfrente. Luego se da media vuelta casi en reposo y de nuevo a repetir el proceso. O si quieres nos podemos imaginar el movimiento en un columpio. Al impulsarnos llegará un momento en el cual, gracias a nuestra velocidad, llegaremos muy alto y allí nos pararemos muy arriba durante un instante. Pero enseguida volveremos a caer mientras aumenta la velocidad, llegaremos cerca del suelo a la máxima velocidad y de nuevo nos iremos frenando poco a poco hacia arriba hasta llegar otra vez a todo lo alto. Pues en el espacio pasa algo parecido cuando por ejemplo un cometa «cae» hacia el interior del sistema solar procedente del exterior y va aumentando su velocidad mientras es atraído por la gravedad de nuestro Sol. Conforme el cometa se aproxima al Sol su velocidad va aumentando de forma constante, ya que nuestra estrella tira de él cada vez con más fuerza. Al

llegar al perihelio (el punto más cercano al Sol) su velocidad será la máxima que va a obtener en toda su órbita. Y tras sobrepasar nuestra estrella y conforme se vaya alejando, el Sol seguirá tirando del cometa para frenarlo, y por tanto su velocidad irá bajando hasta un mínimo que se produce en el afelio (o punto más alejado en la órbita del Sol). En ese lugar el cometa no puede luchar más contra la gravedad solar y vuelve a caer hacia nuestra estrella. Por ejemplo, para el conocido cometa Halley el perihelio tiene lugar a unas 0,57 unidades astronómicas (UA), a una velocidad de 52 km/s (unos 188 800 km/h). Y en el afelio a unas 35 UA su velocidad queda reducida a tan solo 11 km/s, algo que no le permite seguir huyendo, por lo que vuelve a caer hacia el Sol.

Pero Pedro, ¿«peri» qué?, ¿«afe» qué? ¿Y qué es una unidad astronómica? Aclaremos estos importantes y básicos conceptos. Cuando tenemos una órbita elíptica (es decir, siempre), llegará un momento en el cual estaremos en el punto más cercano al objeto orbitado, punto al que se le denomina «periastro», «periápside» o «periapsis». Cuando llegamos al lado opuesto de la órbita y llegamos al punto más lejano se le llamará «apoastro», «apoápside» o «apoapsis». No es demasiado recomendable irle dando un nombre distinto en función del objeto que estemos orbitando, pero es muy frecuente que nos encontremos las palabras «perihelio» y «afelio» cuando nos referimos al Sol. También se usa «perilunio» o «periselenio» y «apolunio» o «aposelenio» si hablamos de la Luna o «perigeo» y «apogeo» cuando hablamos de la Tierra. Y por otra parte, una unidad astronómica (UA) es simplemente una unidad de medida que nos evita usar números demasiado grandes en astronomía, para poder apreciar de forma más sencilla las distancias dentro del sistema solar. Una UA es la distancia que hay desde la Tierra al Sol, algo que tomaremos como referencia y que equivale a unos 149 597 000 km. La órbita real de nuestro planeta es un poco elíptica (no es un círculo perfecto, casi

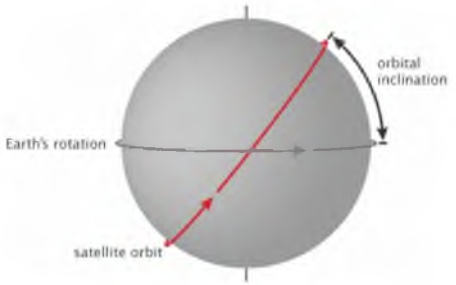
ninguna órbita lo es) y esa longitud es en realidad la distancia media a lo largo de todo el año. De hecho, la órbita de la Tierra pasa en enero por el perihelio a 147 100 000 km de nuestra estrella, a una velocidad de 30,29 km/s. Y por afelio pasa en el mes de julio a 152 100 000 km del Sol, a una velocidad de 29,29 km/s. También vemos que la velocidad media de nuestro planeta alrededor del Sol es de unos 29,8 km/s o 107 280 km/h, que es la velocidad que precisa nuestro planeta para mantenerse en la órbita que tiene alrededor de nuestra estrella. Esa tremenda velocidad es un regalo que no vamos a desaprovechar y que usaremos un poco más adelante, ya que supone una gran ventaja a la hora de enviar sondas a otros planetas.



Órbita elíptica y excéntrica con una duración de 14 horas en la que podemos observar que cerca de periastro (donde pone 7 hrs) recorre más distancia en una hora (va a mayor velocidad) que en el apoastro (donde pone 0 hr), donde el movimiento es más lento. Imagen: JPL/NASA.

Otros tipos de órbitas muy habituales

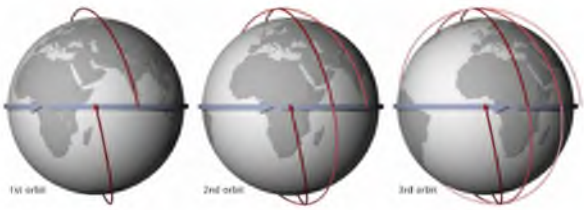
Cuando vayamos a lanzar un satélite al espacio podremos elegir entre una amplia variedad de órbitas disponibles y seleccionaremos aquella que mejor le permita cumplir con su misión. Una de las cosas más importantes que tendremos que elegir será cuál es la inclinación orbital que más le conviene. Si lo tenemos orbitando sobre el ecuador terrestre, se dice que nuestro satélite tiene una inclinación de 0°, y si lo hace volando de un polo a otro se dirá que tiene una inclinación de 90°. Todas las órbitas de inclinaciones intermedias son posibles y cada una tiene una utilidad diferente. Por ejemplo, los satélites geoestacionarios (después hablaremos de ellos) tienen una inclinación de 0°, la Estación Espacial tiene una inclinación orbital de 52° para facilitar los lanzamientos desde Estados Unidos o Rusia y muchos de los satélites científicos tienen una órbita polar inclinada cerca de los 90°.



El ángulo de inclinación de una órbita, en relación con el ecuador terrestre. Imagen: NASA/Robert Simmon.

Las llamadas órbitas polares (cercanas a los 90°) son un tipo particular de órbita inclinada y son muy usadas por satélites científicos y de vigilancia militar, ya que proporcionan una ventaja única e imposible de conseguir si nuestra órbita estuviera inclinada solo 52°, como en la Estación Espacial, por ejemplo. Pensemos por un momento lo que podríamos ver de nuestro planeta desde órbitas con distintas inclinaciones. Si nuestra órbita fuera circular y tuviésemos una inclinación de 0° (cero grados),

estaríamos continuamente pasando por el ecuador terrestre y esa región de nuestro planeta es la que veremos si miramos hacia abajo asomados por la ventana. Si miramos hacia «arriba o abajo» a nuestro planeta, veremos otras regiones un poco más alejadas del ecuador, pero ya en un ángulo más complicado para fotografiar o analizar. Y desde luego no veremos nada que esté en latitudes medias o altas porque simplemente la curvatura de la Tierra y la distancia nos lo impiden. La Estación Espacial por suerte tiene una órbita inclinada respecto al ecuador de 52°, lo que significa que continuamente recorre la superficie terrestre desde los 52° norte hasta los 52° sur de latitud, pasando por encima de todas las regiones del planeta entre esas dos franjas. Si nos asomamos a su ventana podremos ver cómo sobrevolamos España, la India, Sudáfrica, Argentina, México o cualquier región del planeta que no se encuentre demasiado al norte o al sur como la Antártida, Canadá, los países escandinavos o el norte de Rusia. ¿Qué ventaja tienen las órbitas polares? Pues que son perfectas para sobrevolar todo el planeta, ya que desde una ventana podríamos ver todos los territorios de polo a polo, sin que dejemos ninguna región por atravesar y por tanto se podrá fotografiar o estudiar cualquier zona de océano o tierra firme sin problema y barriendo todo el planeta en pocas horas.



Un satélite en órbita polar tiene la gran ventaja de que puede observar todo nuestro planeta diariamente. En el tiempo que tarda el satélite en dar una vuelta al planeta, la Tierra ya ha girado un poco sobre su eje, por lo que sobrevolará una región un poco más al oeste (fíjate en la punta de la flecha) en cada órbita. Si

además colocamos al satélite a una cierta altura (sobre 750 km), conseguiremos que todas las regiones que sobrevuele estén siempre iluminadas por el Sol, facilitando su investigación. Imagen: NASA.

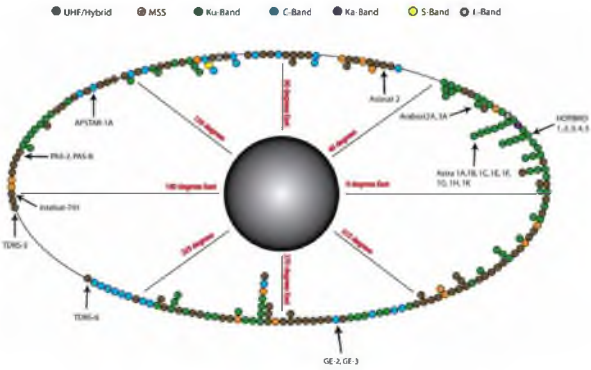
También tenemos otros dos tipos de órbitas llamadas **parabólica** e **hiperbólica**, que se suelen usar cuando una sonda sobrevuela y pasa de largo un planeta o cuando un cometa cae al interior del sistema solar y posteriormente se aleja para no volver jamás. Ambos tipos de órbita son conocidas como «abiertas», debido a que solo se realizan una vez y no se repiten numerosas veces como las circulares y las elípticas. En la hiperbólica, por ejemplo, la sonda cae hacia un planeta con más velocidad que la requerida para escapar, por lo que lo sobrevuela y logra alejarse para seguir con su camino. La parabólica es un tipo muy poco frecuente ya que ocurre lo mismo, pero la velocidad que lleva el objeto es justo la de escape, algo que ocurre muy pocas veces.

La «mágica» órbita geoestacionaria

Es posible que ahora mismo en tu casa estés haciendo uso de este tipo de órbitas sin saberlo, solo debes comprobar si tienes una antena parabólica. Si es así, tu antena apunta directamente a un satélite (Astra, Hispasat, Intelsat...) que se encuentra en una órbita llamada geoestacionaria. Si ya hemos visto que todos los satélites orbitan sin parar alrededor de la Tierra a altas velocidades y que allí arriba nada está quieto, ¿cómo tengo mi antena apuntando siempre al mismo sitio?, ¿no debería mi antena moverse y estar siguiendo al satélite por el cielo? En teoría debería ser así, pero si hacemos un pequeño truco con el satélite conseguiremos mantenerlo «fijo» en el espacio, de forma que tu antena no se vuelva loca y no se te queden las películas y series a medio ver cuando el satélite esté al otro lado del planeta.

Un satélite que gira alrededor del ecuador terrestre a una altura de unos 300 kilómetros de altura tarda aproximadamente 90 minutos en dar la vuelta completa al planeta. Si subimos la altura de su órbita, entonces la circunferencia será mayor y además la recorrerá más despacio, por lo que tardará cada vez más en orbitarnos, como vimos con la tercera ley de Newton. A 1000 km de altura el periodo orbital se incrementa a 105 minutos, a 5000 km rondamos ya las 3 horas y 20 minutos para dar la vuelta completa a nuestro planeta, y si seguimos subiendo comprobaremos que al llegar a los 35 786 km de altura logramos que el periodo orbital haya aumentado hasta las 23 horas y 56 minutos, ¡justo el mismo periodo de rotación de la Tierra alrededor de su eje! Es decir, que logramos que el satélite siga girando tranquilamente alrededor de nuestro planeta, pero lo hace a la misma velocidad con la que la Tierra gira alrededor de su eje y por tanto siempre parece estar en el mismo sitio. ¡La ciencia es mejor que la magia! Gracias a ello podemos usar las características de esa órbita para poner allí nuestros satélites meteorológicos y de telecomunicaciones, para

transmitir televisión, radio, Internet y todo tipo de datos y que parezca que no se mueven del sitio, ¿no es increíble?



Satélites de telecomunicaciones en órbita geoestacionaria alrededor de nuestro planeta. Imagen: Smithsonian Institution.

Aunque mucha gente piensa que la idea original para hacer esto la tuvo el escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke, la verdad es que fue propuesta teóricamente por primera vez, en 1928, por el ingeniero esloveno Herman Potočnik en su libro *El problema de los vuelos espaciales*. En el libro plantea la construcción de una estación espacial con forma de rueda para imitar la gravedad terrestre y situada de forma fija a una altura de casi 36 000 km sobre nuestro planeta. De ese libro sacó Clarke su idea, que fue publicada en 1945 en la revista *Wireless World* bajo el título de «Repetidores extraterrestres», creando el concepto de satélite de comunicaciones geoestacionario.

Si buscamos en Internet algunos de los satélites geoestacionarios operativos, vemos que suelen tener nombres como Hispasat 30W, Astra 19.2E o Intelsat 35E, lo cual nos indica la longitud de nuestro planeta sobre la que se encuentran situados sobre el ecuador, siendo la W para el oeste (*west*) y la E para el este (*east*). En cada una de esas posiciones puede haber varios satélites de la misma compañía, y como las

órbitas no son perfectas, requieren un reposicionamiento frecuente para mantenerse distanciados entre ellos y para que no se desplacen a otra posición.

Atrápame si puedes. Las extrañas maniobras orbitales

Moverse en una órbita es algo que puede parecer simple, pero muchas veces la realidad va en contra de lo que la intuición nos puede indicar. Si nos encontramos en una carretera y queremos alcanzar al coche que tenemos delante, tan solo tendremos que acelerar, pero si queremos separarnos de él habrá que frenar. Esto es muy simple, pero en el espacio las reglas son distintas y a veces pueden ser raras para nuestra experiencia. Imaginemos ahora que vamos en nuestra órbita y vemos delante nuestra a la Estación Espacial, por lo que si queremos llegar hasta ella encenderemos los motores que tenemos a nuestra espalda para acelerar y alcanzarla. ¿Lo conseguiremos? Para nada, puesto que veremos con cara de pasmo que la Estación se aleja cada vez más. ¿Qué ha ocurrido? Aunque parezca extraño, cuando hemos acelerado hemos provocado que nuestra velocidad sea mayor y por tanto nos podemos escapar un poco más de la gravedad terrestre (¿recuerdas lo del equilibrio orbital?), lo que a su vez provoca que nuestra órbita sea más alta. Una vez en una órbita más alta, como ya sabemos, nuestra velocidad será menor, así que la ISS se irá alejando de nosotros porque sigue en una órbita más baja y rápida que la nuestra. Sorprendentemente, si queremos pillar a la Estación, lo que tendremos que hacer es orientar nuestros motores hacia adelante y encenderlos para frenar. Esto hará que nuestra velocidad caiga, la gravedad de nuestro planeta nos atrape un poco más y, en consecuencia, nuestra órbita bajará. Y una vez que estemos en esa órbita más baja, nuestra velocidad será mayor, por lo que alcanzaremos «por debajo» a la ISS para colocarnos a su altura. Aunque claro, para acoplarnos a ella serán necesarias unas cuantas maniobras para igualar las órbitas y velocidades, pero eso ya es otra historia.

Desplazamientos *low-cost* en el espacio. Las órbitas de Hohmann

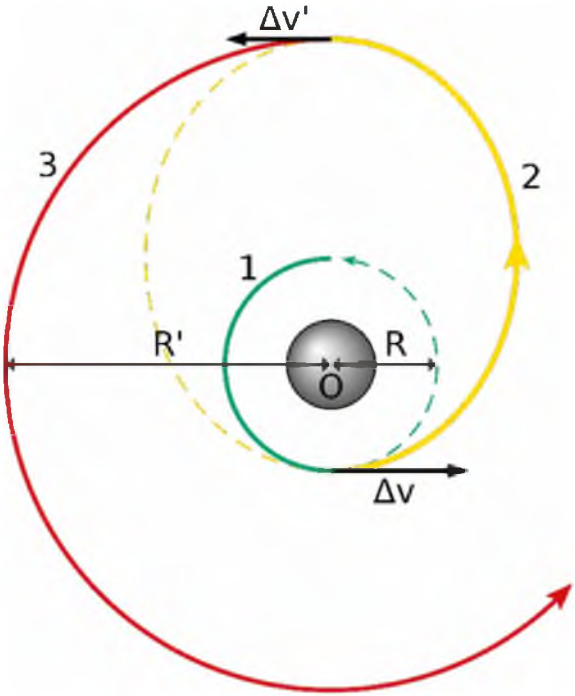
Pongámonos en situación. Estamos a bordo de una futurista nave espacial, en medio de una batalla láser entre un montón de naves de combate, en nuestra película favorita de ciencia ficción. Nos persiguen los malos y de pronto, para esquivarlos, damos un giro hacia un lado, luego al otro, luego una pirueta y nos colocamos detrás para dispararles y acabar con ellos a la primera. En la pantalla del cine queda precioso, pero el problema es que eso no es nada real, como imaginareis. Los objetos en el espacio siguen órbitas por su inercia y salirse de ellas al instante requeriría enormes cantidades de energía con motores que nos propulsan de un lado a otro y luego nuevos gastos de energía para volver a otra posición. En el futuro nunca se sabe, pero la realidad actual es mucho más sosa y navegar por el espacio consiste básicamente en dejarse llevar por las órbitas conseguidas y programar lo mejor posible un económico encendido de motor para subir o bajar la altura de la órbita, pero poco más. Lo siento, Skywalker, tus piruetas espaciales no cuelan.

Ya hemos visto que moverse en el espacio puede ir a veces contra la intuición, por lo que es necesario tener muy claro qué órbitas queremos conseguir y cómo hacerlo de la forma más económica posible. Debemos tener siempre en cuenta que el combustible es algo muy preciado y crítico en el espacio, porque las cantidades que podremos llevar con nosotros siempre son muy limitadas. El método más eficiente para pasar de una órbita a otra mayor o menor es utilizando unas maniobras que nos llevarán a recorrer la llamada «órbita de transferencia de Hohmann». Este tipo de órbitas se usan cuando queremos cambiar nuestra órbita actual por otra más alta o baja alrededor de la Tierra, usando el mínimo de combustible posible. O cuando queremos enviar una sonda a Marte. Estas dos utilidades, que parecen muy distintas, en realidad son lo mismo, pero a diferente

escala. Si por ejemplo tenemos un satélite a 200 km de altura y queremos subir su órbita, usaremos Hohmann para llevarlo por ejemplo a 400 km de altura. Pero si tenemos una sonda en la Tierra que queremos enviar a Marte, en realidad también usaremos una órbita Hohmann, ya que nuestra sonda simplemente pasará de la órbita de la Tierra a la órbita de Marte, estando nuestro planeta en el perihelio y Marte en el afelio de esa órbita Hohmann, donde queremos que finalice. Hacer estas maniobras es lo que se conoce como realizar una órbita de transferencia Hohmann. Veamos en qué consisten.

El ingeniero alemán que da nombre a estas órbitas desarrolló en 1925 (¡32 años antes del lanzamiento del primer satélite artificial!) la teoría y las matemáticas necesarias para realizar un cambio de órbita lo más eficiente posible y con el mínimo de gasto de combustible. Para ello propuso usar una «órbita elíptica tangencial de transferencia», o traducido a lenguaje llano, una «órbita lo más directa posible, que va desde la órbita inicial hasta la órbita final con la mínima energía necesaria». Para aclararlo veamos un ejemplo terrestre: supongamos que vamos con nuestro coche de carreras en un circuito ovalado en el que no paramos de dar vueltas y en un momento determinado queremos tomar una salida hacia los *boxes* para cambiar las ruedas. Si la salida de la pista fuera un simple hueco en las vallas de protección, la maniobra sería una operación delicada, porque tendremos que frenar de golpe hasta casi pararnos antes de llegar a la salida, girar en el ángulo recto para incorporarnos al carril hacia los *boxes* y después acelerar de nuevo, algo muy poco eficiente. Pero si tuviéramos una salida hacia *boxes* similar a las que tenemos en muchas carreteras y autovías, en las cuales el carril se va bifurcando por la derecha y nos podemos incorporar a la salida con un pequeño giro de volante, la operación es mucho más sencilla y efectiva. Pues algo similar ocurre con las órbitas, en las cuales realizamos un encendido de motor para

desviarnos levemente de la trayectoria que llevamos y poner rumbo de forma tangencial (separándonos poco a poco de nuestra órbita actual) hacia otra órbita distinta. A esta órbita de destino también de forma tangencial (incorporándonos poco a poco en la nueva órbita), como si nos entráramos de nuevo en la pista con un carril de aceleración.



Supongamos que estamos en una órbita baja (con el n.º 1 y de radio R) y queremos subir a una órbita más alta (indicada con el n.º 3 y de radio R'). La forma más eficiente de hacer este cambio de órbita es realizar un encendido de nuestros motores en un cierto punto (donde está la flecha ΔV) para adquirir más velocidad en el sentido de nuestro giro. Esto hará que nos vayamos separando de nuestra órbita y recorramos la «órbita de transferencia de Hohmann» (indicada con el n.º 2). Cuando lleguemos a la altura de la órbita de destino (la n.º 3), deberemos realizar otro pequeño encendido de los motores (ΔV') justo en el lado

opuesto al lugar donde los encendimos por primera vez, para que nuestra órbita se vuelva circular y quedemos en la órbita final. De no hacerlo estaríamos en una órbita Hohmann de retorno (la n.º 2 punteada) que nos dejaría en una órbita elíptica entre la órbita baja y la órbita alta. Imagen: NASA.

Los cambios de velocidad que se realizan en una órbita se conocen como delta-V o ΔV y tendremos que realizarlos de forma tangencial a nuestro movimiento en la órbita. Supongamos que estamos en una órbita circular a 250 km de altura y queremos subir hasta otra a circular a 400 km. Para ello debemos apuntar nuestro motor hacia atrás (respecto a la dirección que llevamos en la órbita) y lo encendemos durante unos instantes para incrementar nuestra velocidad, lo que provocará que seamos impulsados a una órbita mayor a más altura (hemos «roto» el equilibrio que tenía nuestra órbita y hacemos un pequeño intento de escapar algo de la Tierra). La nave irá subiendo poco a poco, y todo el recorrido que realizamos hasta llegar a la órbita de destino es lo que se conoce como la trayectoria de Hohmann. Un tiempo después llegaremos a los 400 km de altura en el lado opuesto de la órbita en el que encendimos el motor, por lo que se puede decir que el efecto del encendido no se ve del todo hasta que llegamos al otro lado de la órbita. Pero ahí no acaba la historia, porque una vez que llegamos a esa órbita de destino a 400 km de altura si no hacemos nada más, nuestra nave realizará otra órbita de Hohmann descendente que nos devolverá a la órbita original a 250 km y quedaremos en una órbita elíptica entre una y otra altura. Para mantener la órbita superior de 400 km debemos realizar un segundo encendido del motor justo al llegar a 400 km de altura, para circularizar nuestra órbita y quedarnos a esa altura. ¡Misión cumplida! Como estos conceptos pueden ser un poco difíciles de entender solo con un poco de texto y un gráfico, te recomiendo que busques en YouTube la palabra «Hohmann» y encontrarás numerosos vídeos en español y en inglés

que te lo mostrarán visualmente de forma sencilla.

¿Y cómo lo hacemos para enviar una sonda a otro planeta como Marte? Para ello debemos tener en cuenta que una sonda que se encuentra en la torre de lanzamiento ya está en una órbita alrededor del Sol: la de nuestro planeta. Cuando lanzamos la sonda al espacio lo hacemos en la dirección en la cual se desplaza nuestro planeta alrededor del Sol, de tal forma que a la velocidad del lanzamiento proporcionada por el cohete se le suma la que lleva la Tierra alrededor del Sol. De esta forma la sonda queda viajando por la inercia a gran velocidad en una órbita de transferencia Hohmann alrededor del Sol, conocida como «fase de crucero», que tiene su perihelio en la Tierra y que tendrá su afelio en Marte. Para realizar la operación son necesarios complejos cálculos que permitan lanzar la sonda en el momento adecuado de la posición de nuestro planeta y de Marte en sus órbitas. También se tendrá en cuenta la rotación de la Tierra en el día del lanzamiento y en la dirección correcta para tomar ventaja de la velocidad terrestre. De este modo se recorrerá el espacio entre los planetas de la forma más efectiva posible (órbita de Hohmann) y se cruzará la órbita de Marte justo en el momento en el cual el planeta rojo pase por allí, para poder quedar atrapado por su gravedad. Si la sonda se lanzara un poco antes o después, el cohete no tendría la fuerza necesaria como para hacerlo llegar a su destino, o simplemente Marte no estaría allí. Por tanto la sonda haría su trayectoria de vuelta (Hohmann) hacia la órbita de la Tierra, la cual estaría ya en otra región alrededor del Sol y la sonda quedaría vagando entre las dos órbitas para siempre. Por eso, cuando se diseña una misión se deben tener en cuenta los periodos y ventanas de lanzamiento en las cuales es posible llegar al objetivo previsto.

Dada la velocidad que lleva la sonda al llegar al planeta rojo, es necesario frenar para que no lo pase de largo. Por ello las sondas que se van a quedar orbitando Marte realizan un encendido de su motor

principal al llegar a su destino, apuntando con el motor en la dirección en la que se desplazan y disminuyendo su velocidad. De esta manera quedarán atrapadas por la gravedad y en órbita alrededor del planeta rojo. Historia aparte es llegar hasta la superficie, lo cual detallaremos más adelante.

Las órbitas Hohmann también nos sirven para llegar a planetas más interiores como Venus o Mercurio, pero en este caso la táctica cambia un poco. Ahora la situación es la contraria, ya que tenemos a la Tierra en el afelio o punto más alejado del Sol y a Venus en el perihelio, por lo que la sonda será lanzada en la dirección opuesta a la que sigue la Tierra alrededor del Sol. Con ello conseguimos que la sonda pierda velocidad y la sonda «caiga» desacelerada hacia el interior del sistema solar (girando en la misma dirección que la Tierra pero más lenta que ella), de forma que su órbita irá descendiendo hasta cruzarse con la de Venus, justo en el momento en el cual Venus pase por allí. Una vez que llega al planeta la sonda también encenderá sus motores para adquirir la velocidad de Venus y quedarse enganchada a la gravedad del planeta. Una de las cosas que más me han maravillado desde pequeño de las sondas es que todas estas cosas se pueden calcular con años de anticipación. Gracias a la física y las matemáticas se puede conocer en el futuro el año, el día, la hora y la dirección en la cual hay que lanzar una misión para que llegue a su destino a millones de kilómetros de distancia, con una precisión de segundos. E incluso se pueden diseñar todas las órbitas que se realizarán alrededor del planeta para conocer qué día, hora y a qué distancia sobrevolará sus satélites (como en los casos de Júpiter y Saturno), para poder programar los instrumentos y orientar las cámaras correctamente. La ciencia y la tecnología bien usadas pueden ser maravillosas.

La atmósfera, la muerte a pellizcos de muchos satélites y cohetes

Cuando por fin un cohete logra superar la atmósfera terrestre y sitúa a su satélite en órbita, la historia no acaba. Nuestra atmósfera no tiene un final abrupto, sino que la densidad de moléculas del aire va disminuyendo conforme nos alejamos de la superficie y la presencia de moléculas llega mucho más allá de las órbitas bajas de los satélites. La termosfera es una capa externa de nuestra atmósfera que se extiende desde los 90 hasta los 800 kilómetros de altura y que contiene tan solo el 0,1 % de todos los gases atmosféricos. A pesar de ser un espacio tan amplio y con tan poco aire, las moléculas siguen estando presentes, sobre todo en bajas alturas, y se comportan como un gas. Más arriba tenemos la exosfera, que se extiende hasta los 10 000 kilómetros, pero la densidad es tan increíblemente baja que las moléculas y átomos prácticamente no interactúan entre sí y por tanto no se comportan como gases atmosféricos. Ahora imaginemos que vamos como copilotos en un coche por la autovía y bajamos la ventanilla un instante para sacar una mano. Inmediatamente sentiremos cómo nuestra mano y el brazo se flexionan hacia atrás debido al rozamiento con el aire a 120 km/h. Desde luego un satélite que orbite nuestro planeta a 300 km de altura no encontrará un aire tan denso como en la superficie, pero como su velocidad orbital supera los 28 000 km/h el rozamiento y el choque con las moléculas de aire es muy apreciable. El rozamiento es tan alto, que los satélites van perdiendo velocidad poco a poco y en consecuencia irán descendiendo en altura. Todo esto hará que sigan encontrando un aire cada vez más denso que lo frenará más aún, empezando un proceso de «bola de nieve» que terminará con el satélite quemándose en la atmósfera si nada lo remedia.

La velocidad de todo este proceso dependerá principalmente del conocido como «coeficiente balístico»: mientras menos denso y aerodinámico sea

el satélite, más deprisa caerá al tener más superficie chocando contra la atmósfera. Un objeto que sea grande y poco denso, como unos paneles solares, provocarán una caída mayor que en otro satélite que no los tenga, independientemente de sus tamaños. La fricción pequeña y continua a altas velocidades sobre un satélite acabará provocando tarde o temprano su reentrada en la atmósfera, donde será destruido en pocos minutos. A diario se producen muchas reentradas atmosféricas de satélites o fragmentos de basura espacial que han ido bajando en su órbita, hasta que llega un momento en el cual la atmósfera gana un pulso que suele durar varios días. Llegado un cierto punto, sobre los 150-175 km de altura, la situación ya es irreversible y finalmente acabará entrando en la atmósfera convertido en una bola de fuego. Como un meteoro incandescente recorrerá algunos miles de kilómetros bajando su altura, para terminar evaporado, cayendo al océano o en la superficie de nuestro planeta. En la inmensa mayoría de las ocasiones son eventos que pasan muy desapercibidos, pero en otros casos, dado el tamaño del objeto (como un gran cohete chino), acaban llenando las cabeceras de los medios de comunicación de todo el mundo. Y sobre todo si es una caída descontrolada en la cual no se puede intervenir mediante órdenes que permitan orientar o frenar el aparato. Sin embargo esto no es lo más frecuente, porque cuando se trata de grandes objetos, las agencias espaciales o las empresas programan el encendido de algún motor que frenará la nave en un determinado punto sobre el planeta, lo que provocará que baje su velocidad y quede atrapado por la gravedad y la atmósfera terrestre en los siguientes minutos. Suelen ser procesos muy controlados y se conoce con bastante exactitud la zona de caída, generalmente el punto Nemo del sur del océano Pacífico, al ser el punto más aislado y deshabitado de la Tierra.

En muchas otras ocasiones la reentrada atmosférica

se usa a nuestro favor para frenar naves espaciales tripuladas que vuelven a casa, como pueden ser las cápsulas Dragon, Soyuz o Starliner. Como tenemos una nave que viaja a 8 km/s y queremos reducir su velocidad para que descienda, normalmente lo único que tenemos que hacer es encender un motor en el sentido en el cual nos desplazamos para frenarnos. Tras el encendido la nave pierde algo de velocidad, pero esto es más que suficiente como para bajar la órbita y llegar a las capas altas de la atmósfera a gran velocidad. Esto hará que las moléculas de aire se encarguen de frenarnos como a un meteoro, y de esa forma perderemos toda la velocidad que llevamos, hasta que nos encontremos a una altura lo bastante baja como para finalizar el descenso en paracaídas.

Imagen nocturna adquirida desde la ISS, donde podemos ver la delgada capa que forma nuestra atmósfera y gracias a la cual estamos a salvo del frío vacío del espacio. Aunque parezca un límite brusco, en realidad, a partir de esa zona la atmósfera sigue existiendo con una menor densidad, pero aún temible para los satélites. Imagen: NASA.

Hay otra situación en la cual la resistencia provocada por la atmósfera causa problemas. Sabemos que la Estación Espacial Internacional se mueve sobre nuestro planeta a unos 420 km de altura, y dado su gran tamaño el rozamiento es bastante apreciable, lo que provoca un descenso lento y continuado de hasta 1 km cada dos meses. Estas

caídas pueden llegar a ser muy variables, ya que la atmósfera puede cambiar su densidad en función de la actividad solar. Durante los máximos solares se produce un aumento de la energía desprendida por nuestra estrella, lo que provoca un calentamiento de la atmósfera y una expansión hasta mayores altitudes. Para contrarrestar la caída, la ISS realiza encendidos de forma periódica en los motores de alguna de las naves de carga que tiene acopladas, lo que provoca elevaciones en la órbita de entre 400 y 1500 metros, lo que genera un gasto de unas 10 toneladas de combustible al año. Estos «empujones» suelen realizarlos las naves Progress, pero en años anteriores era habitual que la nave europea ATV y las visitas del Transbordador Espacial ayudaran al mantenimiento de la altura del complejo, con potentes encendidos que llegaron incluso a los 50 km de elevación. Otros eventos, como la llegada de una nave con tripulación o la posibilidad de impacto con un fragmento de basura espacial, pueden provocar nuevas maniobras para hacer subir o bajar la ISS en función de las necesidades o para evitar un posible y catastrófico accidente.

PARTE DOS

Capítulo 4

¿Cuántos satélites hay ahora mismo en el espacio?

Bueno, esta no es una pregunta sencilla de responder porque entre otras cosas depende de lo que se considere un satélite. Porque podemos hablar en general de objetos que están en órbita o solo de los que son satélites propiamente dichos. Y dentro de los satélites se pueden considerar solo los que están activos o todos los que siguen en órbita aunque no funcionen. Y todo esto por no hablar todavía de la basura espacial, que ya tocará. Además, la cantidad cambia todas las semanas debido a nuevos lanzamientos y nuevas reentradas atmosféricas, pero por suerte está todo perfectamente catalogado y podemos hacer un seguimiento de la cantidad de objetos que hay en el espacio y por supuesto de la cantidad de basura espacial.

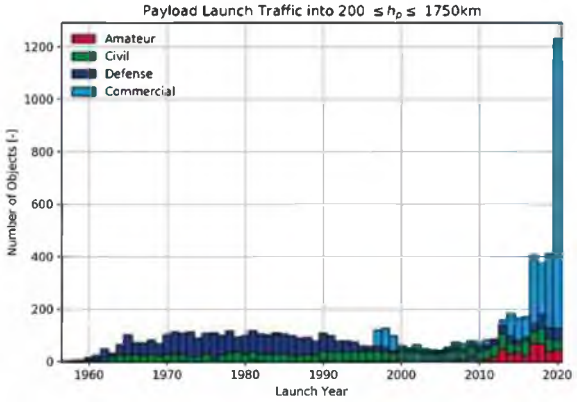
Vamos a por los datos: desde los inicios de la carrera espacial en 1957 hasta finales de 2021 se han llevado a cabo más de 6100 lanzamientos de cohetes que han enviado al espacio un total de 12 950 satélites. En septiembre de 2021 en la órbita terrestre teníamos un total de 7550 satélites de los cuales 4700 estaban todavía en activo y, por tanto, podemos decir que esa es la cantidad de satélites que están ahora mismo alrededor de nuestro planeta. Esta es una cifra bastante considerable y que además queda obsoleta rápidamente. Cuando acabó el año 2016 (anteayer, como quien dice) teníamos en activo un total de 1465 satélites alrededor de la Tierra, y esta ya era una cifra enorme y que se ha mantenido bastante estable durante la década anterior. Desde entonces y sobre todo en los últimos años con el aumento continuo en la cantidad de lanzamientos anuales, por la incorporación de numerosas empresas e instituciones, con los pequeños cubesats y por la puesta en marcha de varias constelaciones de satélites, esa cifra se ha quedado ridícula. Para finales de 2017 ya teníamos un total de 1787 satélites activos, a finales de 2018 ya eran 2043, al finalizar 2019 llegamos a los 2298 y al terminar 2020 la cantidad subió hasta los 3372

satélites en activo ¡con casi 1100 satélites más en solo un año! Todo ello fue debido al inicio del despliegue de la megaconstelación Starlink de SpaceX que incorporó ella sola otros 833 satélites nuevos en un año y que en menos de 12 meses ya representaban el 25 % del total de satélites operativos en el espacio.

Año	Satélites en activo
2017	1787
2018	2043
2019	2298
2020	3372
2021	5400

Satélites activos en órbita al finalizar cada año. Tabla: elaboración propia.

Durante el año 2021, solo entre las constelaciones Starlink y OneWeb se lanzaron al espacio unos 1900 nuevos satélites, lo que equivale a todos los satélites que Estados Unidos ya tenía en órbita a comienzos de ese mismo año y más de los que tenían todos los países del mundo en 2017. En total se lanzaron unos 2300 satélites en 2021, que eran casi los mismos que tenían todos los países conjuntamente en 2019. Si revisamos las cifras vemos que en solo los tres años que van de 2017 a 2020, se ha duplicado el número de satélites activos en el espacio y este ritmo va a continuar durante la próxima década. Así que es posible que para el año 2030 tengamos funcionando la totalmente descabellada cantidad de 25 000 satélites en órbita terrestre.



Número de satélites enviados al espacio cada año a una órbita baja (<1750 km). Entre 1960 y 1990 podemos ver una mayoría de origen militar (*defense*), y desde entonces la mayoría ha pasado a mano de satélites científicos (*civil*) y comerciales, siempre con una media de unos 100 nuevos satélites al año. En 2013 vemos cómo empiezan a aumentar los satélites de aficionados (*amateur*) con la llegada de los cubesats, aumentando las cifras hasta los 200 al año. Entre 2017 y 2019 vemos una gran explosión de nuevos satélites en órbita, dejando la media en 400 anuales, aunque todo lo anterior palidece con lo ocurrido en 2020 en un aumento sin igual hasta los 1200 y que siguió subiendo en 2021 con unos 2300 nuevos satélites (no aparece aún en la gráfica, pero será el doble de 2020) y mantendrá ese ritmo de subida durante al menos los próximos 10 años. Imagen: ESA/Space Environment Statistics.

País	Satélites en órbita	Satélites en activo
USA	3475	2661
Rusia	1507	191
China	526	470
Otros	1995	1387
Total	7503	4709

Número total de satélites que están en órbita o activos

por país, actualizado en septiembre 2021. Tabla: elaboración propia.

Constelaciones de satélites, de proyectos inteligentes al caos absoluto

Hay situaciones en las cuales lanzar un solo satélite para un proyecto no es viable ya que sería imposible que cumpliera su misión, como por ejemplo cuando tenemos que dar cobertura de posicionamiento en todo el mundo o para servicios globales de telefonía o comunicaciones. En esos casos es necesario diseñar toda una flota de satélites que presten el servicio usando múltiples órbitas y con varios satélites en cada una de las órbitas. Y debemos también tener en cuenta que una compañía que ofrezca servicios de televisión por satélite, como Intelsat, Galaxy, AMC o Astra, cuenta con numerosos satélites posicionados para ofrecer sus servicios, pero estos no se consideran como una constelación, sino como un grupo de satélites. Hay algunas constelaciones de satélites ya veteranas como son las pertenecientes a satélites de posicionamiento GPS de origen y financiación militar pero con un extendido uso civil a las que han seguido otras como la europea Galileo o la rusa Glonass. Entre las constelaciones de comunicaciones veteranas destaca Iridium (muy conocida por los observadores del cielo debido a los brillantes destellos que dan sus paneles solares), GlobalStar y recientemente se han sumado otras como Starlink o OneWeb, que han desatado una locura espacial que no sabemos cómo puede terminar. De todas ellas, la que más repercusión ha tenido (y tendrá en los próximos años) es Starlink por varias razones. La primera de ellas es que esta constelación de satélites pertenece a SpaceX y Elon Musk, por tanto es noticia asegurada en los medios. El segundo motivo para su fama es que la cantidad de satélites que van a poner en órbita supera todo lo conocido e imaginable en muchos sentidos. Y la tercera razón es que tal cantidad de satélites ya está creando problemas y muchos más que acabará creando.

La megaconstelación de Starlink estará formada como mínimo por un total de 11 908 satélites

operativos en su primera fase, lo cual significa que se lanzarán muchos más para tenerlos como reserva en el espacio, así como muchos otros para sustituir a todos aquellos que vayan fallando. Para lograr esta proeza tecnológica los satélites se construyen en la factoría de SpaceX a un ritmo de 6 al día, por lo que cada mes tienen casi 200 nuevos satélites listos para lanzar. Estos satélites son enviados al espacio por los cohetes Falcon 9 de SpaceX en grupos de 60 en cada vuelo, aunque también pueden usar el Falcon Heavy que los lanzaría en grupos de 200 con cada misión, el equivalente a la cantidad total de satélites que antes se lanzaban en todo el año. En mayo de 2019 se lanzaron los primeros 60 satélites del proyecto y en noviembre de ese año se lanzaron otros 60 más. A partir de ahí el ritmo ha ido subiendo sin parar ya que durante 2020 se lanzaron otros 14 cohetes más con 840 nuevos satélites en total. En 2021 se llevaron a cabo otros 14 lanzamientos solo en los cinco primeros meses del año, con un total de 782 nuevos satélites, representando en ese momento cerca del 40 % de todos los satélites activos del mundo. Los primeros 1584 satélites necesarios para dar servicio de Internet global se encuentran en 24 órbitas diferentes de 66 satélites operativos y con varios más de reserva en cada una, a una altura de 550 km, y se espera colocar a los 11 000 restantes en órbitas entre los 350 y los 570 km. Una vez desplegada la constelación se pondría en marcha la segunda generación consistente en un total de 30 000 nuevos satélites. Como sigan con ese ritmo para subir al espacio vamos a necesitar un pico y una pala para atravesar el techo de satélites que van a montar.

Nombre	País	Satélites necesarios	Satélites activos ahora (2021)	Satélites lanzados en total (2021)
GPS	EE. UU.	24	40	77
Glonass	Rusia	24	27	136

Galileo	Europa	24	24	28
BeiDou	China	35	35	59
NAVIC	India	8	7	8
QZSS	Japón	7	4	4

Listado de las constelaciones de satélites de navegación y posicionamiento, con el número de satélites mínimo para funcionar, el número de satélites activos y el número total de satélites lanzados desde que se creó la constelación. Tabla: elaboración propia.

Proyecto	Empresa	Satélites necesarios	Satélites activos	Satélites lanzados
Globalstar	Globalstar	24	24	72
Iridium	Iridium	66	7	95
Iridium Next	Iridium	66	75	75
O3b MEO	O3b	20	20	20
O3b mPOWER	O3b	11	0	0
Orbcomm	Orbcomm	17	24	46
Orbcomm-OG2	Orbcomm	12	12	18
Dove-Flock	Planet Labs	---	239	467
SpaceBee	Swarm Technology	150	129	129
Telesat	Telesat	1600	0	0
OneWeb	Oneweb - Airbus	>650	316	322
Kuiper	Amazon	3236	0	0
Starlink	SpaceX	11 908	1658	1791
Gou Wang	China	12 992	0	0

Listado de constelaciones de satélites de comunicaciones y monitorización, incluyendo el número mínimo de satélites necesarios, la cantidad que hay en funcionamiento y el total de satélites

lanzados para esa constelación (operativos, en hibernación y desorbitados). Tabla: elaboración propia (con datos hasta septiembre 2021).

Ahora imagínate que estás tumbado viendo las estrellas o paseando justo después del atardecer y de pronto ves una fila de luces en el cielo moviéndose despacio pero sin parar y que recorren todo el firmamento de lado a lado. Te has puesto a contar y algunas luces estaban tan juntas que no sabrías decir cuántas hay pero podrían ser más de cincuenta. ¿Qué acabas de ver? Pues algo que cada vez es más frecuente y que ocurre en las horas y días que siguen a un nuevo lanzamiento de Starlink. Cuando la segunda etapa del cohete llega al espacio, los 60 satélites de la misión se separan todos a la vez (puedes ver sus lanzamientos y la separación en directo por YouTube) y se van distanciando poco a poco entre sí a lo largo de su órbita compartida en los siguientes días. Si usas alguna de las aplicaciones móvil o de ordenador para el seguimiento de satélites podrás comprobar si los días que siguen a cada lanzamiento se produce un buen avistamiento desde tu localidad, ya que poco después del atardecer o antes del amanecer es posible verlos pasar por el cielo todos juntos y a muy poca distancia entre ellos, dando un sorprendente espectáculo. Solo hay que tener en cuenta que con cada día que pasa desde el lanzamiento, la separación se va haciendo mayor, y en lugar de verlos pasar todos juntos tal vez observes un goteo de satélites que pasan casi por el mismo sitio durante un periodo de varios minutos y separados unos segundos entre sí.

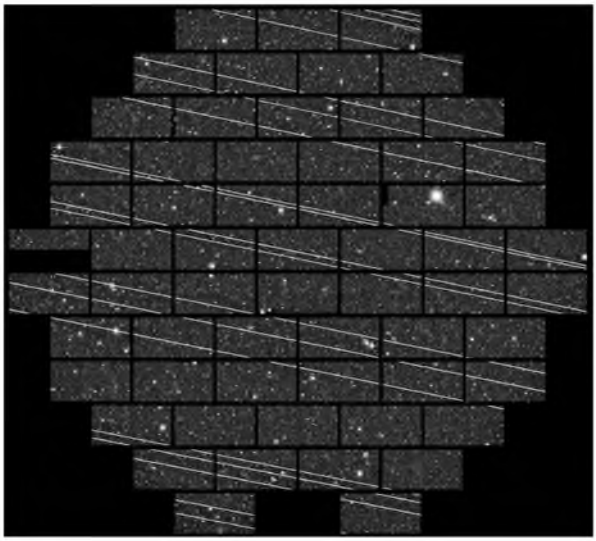


Imagen del observatorio de Cerro Tololo (CTIO) con una exposición de 333 segundos capturada por Clara Martínez-Vázquez y Cliff Johnson, donde podemos ver los trazos dejados por los satélites Starlink. Imagen: NSF's National Optical-Infrared Astronomy Research Laboratory/CTIO/AURA/DELVE.

Esta es la parte simpática o bonita de Starlink, pero ¿qué pasará cuando tengamos 5000 o 12 000 de estos satélites a la vez en órbita? ¿Qué ocurrirá cuando además se unan las megaconstelaciones OneWeb, Kuiper y Gou Wang con sus casi 30 000 satélites? Cuando dentro de unos pocos años tengamos decenas de miles de satélites orbitando nuestro planeta, los atardeceres y los amaneceres ya no serán lo mismo, ni estética ni sentimentalmente. A ver, que no me quiero poner moñas, pero a todos nos ha gustado ver un amanecer o una puesta de sol con alguien especial o en un viaje y no es lo mismo si de pronto comenzamos a ver un montón de lucecitas de aquí para allá por todo el cielo como si estuviéramos en una discoteca (exagerando un pelín) o en una película de *Star Wars*. Una empresa no tiene derecho a estropear los cielos de todo un planeta por un beneficio económico solo para ellos, no es ético por mucho que lo quieran

disfrazar de servicio esencial para zonas pobres sin acceso a Internet, porque en esas regiones remotas y pobres van a tener complicado pagar esas cuotas de acceso al servicio y existen alternativas mejores y más baratas. Por otra parte, los cientos de miles de aficionados a la astronomía que hay por todo el mundo y que se dedican a observar el cielo y fotografiarlo tendrán a partir de ahora sus fotos llenas de decenas de rayitas cortesía de cada uno de los satélites Starlink. Pero todo esto no importa en comparación con el daño que harán a los observatorios profesionales, cuyos gigantescos telescopios verán estropeadas sus observaciones con la presencia continua de estos satélites pasando por delante del objeto que están estudiando en el cielo. Es cierto que los nuevos satélites han sufrido modificaciones en su diseño, se han pintado de negro o se le han colocado parasoles en sus zonas más brillantes para evitar que el brillo llegue a la Tierra, pero a simple vista solo han bajado un poco su magnitud y en astrofotografía se siguen viendo perfectamente, convirtiendo cada imagen en un campo de batalla espacial. También se ha propuesto que cada observatorio programara sus telescopios para dejar de obtener una imagen de larga exposición justo cuando fuera a pasar un satélite para continuar después, pero dada la gran cantidad de satélites que se espera, convertiría la obtención de imágenes en algo casi imposible. Y todo eso sin contar con que los satélites pueden modificar sus órbitas de forma autónoma, lo que provocaría que aparecieran unos segundos antes o después, haciendo imposible predecir cuándo pasarán. Y las nuevas propuestas para hacer sus órbitas algo más bajas tampoco van a solucionar el problema, así que el panorama es bastante triste.

Y por si fuera poco la basura espacial provocada por estas megaconstelaciones subirá exponencialmente, ya que para tener 12 000 satélites funcionando necesitarán lanzar muchísimos más. Cuando los

primeros que se lanzaron ya lleven varios años funcionando, tendrán que ser sustituidos, sin contar los innumerables satélites que fallarán o quedarán sin control. Los satélites que vayan a finalizar su vida útil serán desorbitados en pocos días, pero ¿qué pasa con aquellos con los que se pierda el contacto o dejen de funcionar sin aviso? Esos satélites permanecerán en sus órbitas mucho más tiempo, cayendo primero los que están en órbitas más bajas (300 km) pero tardando casi una década los que se encuentren a 500 km de altura. Si suponemos que uno de cada cien satélites pueden fallar, con una constelación de 12 000 tendremos 120 satélites que pueden estropearse y colisionar con el resto, creando el caos en esas órbitas y llamando a la puerta del conocido como síndrome de Kessler. Espero que no sea demasiado tarde para buscar soluciones, pero las empresas no parecen dispuestas a cambiar sus planes.

Los carretes fotográficos que caían del cielo

En la actualidad, con la fotografía digital adquirir una imagen y enviarla a grandes distancias no es problema ya sea en nuestro planeta o en el espacio. Pero en la época analógica en la cual las imágenes se obtenían sobre una película fotográfica el proceso era más complejo, y sobre todo si se hacían desde el espacio. Los primeros satélites espías de los Estados Unidos y la Unión Soviética tenían como labor obtener fotografías de lugares de interés estratégico del territorio enemigo y luego enviar esas imágenes al equipo responsable de la misión. Hoy día una fotografía obtenida por un satélite espía se codifica en el satélite y se envía mediante antenas de radio al sobrevolar la base militar que se encarga de sus operaciones. Sin embargo en los años sesenta y setenta la fotografía quedaba impresa en un negativo y había dos opciones: o se escaneaba el negativo para convertirlo a formato digital para enviarla por radio o bien se preparaba la película fotográfica para enviarla de vuelta a nuestro planeta donde era recogida por equipos del Ejército. Y para los soviéticos esta segunda opción era la preferida sin ninguna duda, ya que las comunicaciones por radio entonces eran menos seguras. Para ello pusieron en marcha el programa Object-D, encargado del desarrollo y construcción de los satélites espía conocidos como «Zenit», los cuales compartían diseño con las primeras cápsulas tripuladas Vostok y que estaban formadas por un módulo de servicio y una cápsula esférica de reentrada. En el módulo de servicio el satélite portaba las baterías, los sistemas electrónicos y el combustible para las maniobras, mientras que en la cápsula de retorno se encontraban las cámaras, las películas fotográficas, los paracaídas para el descenso, los emisores de localización y las cargas explosivas. Estas cargas solo serían usadas si tanto el cohete como el satélite tenían posibilidades de caer en territorio enemigo. El satélite al completo no era pequeño, dado que su peso total rondaba las 5 toneladas y su longitud

era de unos 5 metros.

La idea principal era que el satélite realizaría su misión fotográfica con una órbita muy baja y que le llevaría a sobrevolar el territorio enemigo a tan solo 200 km de altura. De esta forma podría adquirir fotografías con buena resolución de regiones concretas del territorio de los Estados Unidos o de sus bases militares en cualquier lugar del mundo durante al menos una o dos semanas. Para realizar su trabajo los primeros satélites portaban 4 cámaras telescópicas y cada una de ellas llevaba un enorme carrete capaz de albergar 1500 fotografías que tendrían una resolución de menos de 10 metros, cubriendo un territorio de 60 x 60 km en cada fotografía. Simultáneamente, una quinta cámara con una longitud focal de 200 mm y menor resolución obtendría fotografías de la misma región con una perspectiva más amplia para poder poner a las otras en contexto. El primer satélite de este programa fue conocido con el nombre genérico Kosmos 4 y se lanzó el 26 de abril de 1962 para una misión que finalmente duró solo tres días y que estuvo plagada de problemas, al igual que la mayoría de las primeras misiones de la época. Una vez realizada su misión, el módulo de servicio encendió sus motores para realizar un frenado que haría descender la cápsula esférica de reentrada conteniendo las cámaras y la película fotográfica que serían recuperadas horas después en la región de Kazajistán para su análisis. Como curiosidad, durante décadas la Unión Soviética y posteriormente Rusia han usado la denominación «Kosmos» para todos aquellos satélites de los cuales no querían dar más información. Durante muchos años en Occidente no se tuvo nada claro la misión de cada uno de los cientos de satélites Kosmos que se han lanzado al espacio, siendo una «tradición» que sigue en la actualidad con más de 2550 satélites de la serie «Kosmos» lanzados.

Un avión C-119J recupera el paracaídas con la cápsula de un satélite CORONA en las cercanías de Hawai. Imagen: Fuerza Aérea de los Estados Unidos.

Por su parte, los norteamericanos tenían su programa CORONA gestionado directamente por la CIA y que comenzó a funcionar en 1956 con el objetivo de diseñar y construir satélites que sustituyeran a los aviones espía U-2 que podían ser abatidos por el enemigo. Otro programa en activo de manera simultánea fue el proyecto SAMOS, gestionado por la Fuerza Aérea, y que era considerado internamente como rival del CORONA. La primera serie del programa CORONA fue designada KH-1 (KeyHole 1), pero de cara al público se informaba que el satélite pertenecía al ficticio programa Discoverer destinado a la investigación científica y con retorno de muestras biológicas y experimentos. Esta serie de satélites eran en realidad la etapa superior de un cohete Agena-A que se modificaba para alojar en su interior una cámara telescópica de 61 cm de longitud focal y con una resolución estimada de 12 metros. Una vez finalizada su misión se separaba una pequeña cápsula que contenía tan solo la película fotográfica, y tras reentrar en la atmósfera la cápsula bajaba en paracaídas para ser recuperada por un avión en pleno vuelo durante el descenso, al más puro estilo de Hollywood. Las primeras misiones fracasaron en el lanzamiento o en la reentrada, y las pocas que

llegaron a órbita no consiguieron imágenes ya que la película fotográfica de Kodak se rompía por las condiciones térmicas que la cápsula encontraba en el espacio. Por tanto la empresa tuvo que fabricar otro tipo de película más resistente a las condiciones adversas del espacio para las siguientes misiones. La misión Discoverer 13 que regresó a la Tierra el 11 de agosto de 1960 logró ser la primera en la historia en conseguir que un objeto que había estado en el espacio orbitando nuestro planeta fuera recuperado con éxito. Por su parte los satélites del programa SAMOS eran más pesados y avanzados, puesto que las fotografías que obtenían eran escaneadas en el propio satélite, codificadas y enviadas electrónicamente a las bases de seguimiento terrestre. Ambos programas estuvieron activos durante muchos años hasta que en 1972 los Estados Unidos decidieron sustituirlos por la mucho más moderna serie KH-9 Hexagon de la NRO (National Reconnaissance Office), que diseña y construye satélites para todos los servicios de inteligencia norteamericanos.

La historia de Oscar 7. Este satélite está muy vivo

El 15 de noviembre de 1974 despegó desde la Base Aérea de Vandenberg, en California, un cohete Delta 2310 portando en su interior el satélite AMSAT Oscar 7, dedicado a las comunicaciones entre radioaficionados de todo el mundo. Como curiosidad, en ese mismo cohete también iba al espacio el primer satélite científico español llamado Intasat. El satélite Oscar 7 era todo un avance en su campo y su peso era de tan solo 29 kg, con una dimensiones de 36 x 36 x 42 cm y forma octogonal. Con una órbita casi circular de 1450 km de altura y una inclinación de 101°, tardaba 115 minutos en dar una vuelta a nuestro planeta. Durante 7 años estuvo funcionando con normalidad y sirvió como método de comunicación entre aficionados a la radio que usaban sus repetidores para comunicarse con otras personas de todo el mundo. En 1980 sus baterías comenzaron a fallar y en 1981 dejó de repetir las señales, por lo que se dio por perdido y se declaró finalizada su misión. Pero la rocambolesca historia de este satélite nos lleva hasta el año 1982, cuando el sindicato polaco Solidarność Walcząca de la ciudad de Wroclaw estaba en plena lucha contra la dictadura comunista de aquel país que había declarado la ley marcial en 1981. Como buena organización ilegal de la época, contaba con equipos de radioaficionados que descubrieron por casualidad que podían usar todavía el satélite para comunicarse con otros simpatizantes por todo el país. Eso les permitía evitar las comunicaciones por radio o teléfono que podían ser interceptadas por las autoridades polacas, ya que era imposible el rastreo de la señal procedente del satélite. Por supuesto el sindicato no comunicó su descubrimiento y lo estuvieron usando hasta la finalización de las revueltas y la historia cayó en el olvido.

Sin embargo, veintiún años después, el 21 de junio de 2002 el radioaficionado Pat Gowan conoció esta clandestina historia a través de una revista para radioaficionados y se levantó de su sillón y calculó

dónde se podía encontrar el satélite. Para su sorpresa comprobó que todavía funcionaba al recibir una señal inequívoca de Oscar 7, algo que fue confirmado en las siguientes horas por aficionados de todo el planeta. ¡El satélite seguía funcionando 28 años después de su lanzamiento! La vida útil de sus componentes se estimó en seis años, ya que fue construido por varios aficionados con piezas que sobraron de otros satélites y aparatos comerciales y no estaba diseñado para resistir las radiaciones en su órbita durante tanto tiempo. Queda claro que fue construido mejor de lo que pensaban esos «aficionados» y que no eran llamados «profesionales» simplemente porque no cobraron por su trabajo. Por lo que parece volvió a funcionar debido a que sus baterías quedaron cortocircuitadas y se convirtieron en un circuito abierto que permitía el paso de la corriente desde los paneles solares hasta los repetidores de radio. Esto hace que funcione cuando se encuentra expuesto al Sol y que se quede en silencio cuando pasa por la sombra de la Tierra. Como curiosidad final, ha pasado ya tanto tiempo desde que fue lanzado, que la frecuencia en la que transmite (los 432,1 MHz) ya no se usa en las comunicaciones de radioaficionados debido a cambios en las normas internacionales de radio (ahora se usan entre los 435 y los 438 MHz), por lo que los intentos de comunicarse a través de Oscar 7 podrían considerarse hasta ilegales por interferir en otros sistemas de comunicación. A día de hoy y casi 50 años después de su lanzamiento, el satélite Oscar 7 sigue funcionando.

Momento en el que el militar y dictador comunista Wojciech Jaruzelski implantaba la ley marcial en Polonia en uno de los decorados más cutres que se recuerdan. Las prohibiciones fueron burladas por la resistencia gracias al satélite Oscar 7. Imagen: dominio público.

Los puntos Lagrangianos, un lugar especial para los satélites

Una de las mayores curiosidades que existen en el mundo de las órbitas y los satélites son los llamados puntos de Lagrange. Supongamos que queremos situar una sonda entre el Sol y nuestro planeta, de forma que nos avise cuando llegue una tormenta solar que pueda poner en peligro las comunicaciones de nuestro planeta o la vida de los astronautas que están en la Estación Espacial. Esto a primera vista es imposible, porque en el espacio no hay nada fijo, nada está quieto. Todo lo que está en el espacio está orbitando y una sonda en una órbita más pequeña viajará más rápidamente alrededor del Sol, por lo que llevará un ritmo distinto a nuestro planeta, adelantándonos y alejándose de nosotros primero y situándose en el lado opuesto respecto al Sol después. Meses más tarde volverá a acercarse por el otro lado, al igual que lo hacen Venus o Mercurio, que están más cerca de nuestra estrella que nosotros.

Sin embargo, podemos hacer un poco de magia orbital gracias a los estudios de Lagrange, un matemático francés que en el siglo XVIII descubrió algo interesante con sus cálculos. Un satélite en órbita terrestre siente la gravedad de nuestro planeta con toda su fuerza y apenas le afecta la gravedad solar. Si lo alejamos un poco de nosotros la intensidad de la gravedad terrestre será menor y la solar todavía muy pequeña. Pero si lo alejamos aún más, llegará un momento en el cual la fuerza de la gravedad del Sol crezca y la terrestre disminuya hasta quedar igualadas. Hay un punto en el espacio en línea recta entre la Tierra y el Sol donde la gravedad se iguala y el satélite tiende a ser atraído hacia un lado por la estrella y hacia el otro por el planeta por la misma fuerza, por lo que se queda en ese punto en equilibrio. En ese lugar el equilibrio no es perfecto y tiende a mover a la sonda de su sitio, pero con unas fuerzas de gravedad tan equilibradas se requiere muy poca energía para mantenerse durante años en esa zona. A

esa región del espacio se la conoce como L1 y está a un millón y medio de kilómetros de nuestro planeta y por tanto a unos 148 millones de kilómetros del Sol.

Pero L1 no está solo, porque en la dirección opuesta al Sol desde nuestro planeta tenemos otro punto «mágico» llamado L2 donde las gravedades en este caso se suman. Y en la misma órbita de la Tierra, pero formando un ángulo de 60° respecto al Sol, se encuentran los conocidos como puntos L4 y L5 que permiten también un equilibrio orbital. El quinto punto teórico llamado L3 se encuentra en la línea recta entre la Tierra y el Sol, pero por el otro lado de la estrella donde la gravedad terrestre es imperceptible y por tanto no es útil para nada. Estos cinco puntos se encuentran siempre entre dos cuerpos celestes a condición de que uno tenga mucha más gravedad que el otro.

Espectacular imagen obtenida desde el punto L1 por el observatorio DSCOVR de la Luna (mostrando su cara oculta) pasando por delante de la Tierra. Imagen: NASA/Goddard.

Entre los factores que desequilibran esos puntos

están las propias velocidades de llegada de la sonda, el viento solar, la gravedad de otros planetas y el paso de asteroides cercanos, lo que obliga a un uso frecuente de sus motores para mantenerse en una órbita que rodee en todo momento el punto donde se encuentre. Este movimiento es usado en la práctica además para poder mantener comunicaciones «limpias» con las sondas, ya que una sonda que estuviera justo en el punto central implicaría apuntar las antenas terrestres directamente al Sol, lo cual provocaría muchas interferencias. Así que las naves suelen estar orbitando alrededor de ese punto a una distancia que permita mantener la estabilidad de la zona (de unos 100 000 km de radio), con comunicaciones ininterrumpidas las 24 horas del día con nuestro planeta y visión continua del Sol sin eclipses terrestres o lunares.

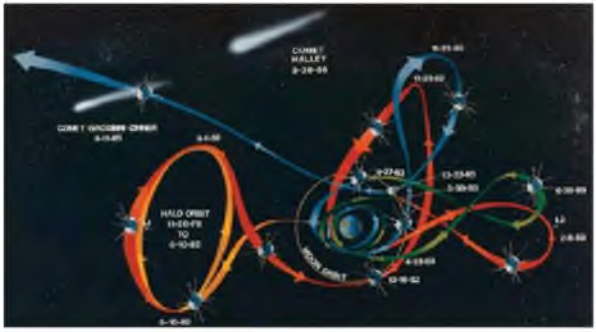
El punto L1 es el más usado de todos, generalmente por sondas y observatorios que estudian el Sol y el medio interplanetario como Soho, Genesis, ISEE-3, Wind, Ace, Grail o DSCOVR. El punto L2 es muy práctico para observatorios espaciales porque se evitan los eclipses terrestres y lunares y además el Sol siempre está en el mismo sitio, por lo que son más fáciles sus operaciones y maniobras. Allí se encuentran los observatorios WMAP, Plank, Herschel y el gran James Webb. En los puntos L4 y L5 se encuentran las sondas gemelas Stereo, que estudian nuestro Sol compartiendo la órbita con nuestro planeta pero adelantada y atrasada 60° para poder tener una visión tridimensional de nuestra estrella. El punto L1 del sistema Tierra-Luna también es usado con frecuencia a la hora de realizar maniobras orbitales y será el destino de la Estación Espacial Lunar Gateway. Un único satélite de comunicaciones en el punto L2 lunar serviría para cubrir todas las comunicaciones necesarias en la cara oculta de la Luna y fue usado por la misión china Queqiao para mantener las comunicaciones con el aterrizador Chang'e 4 en la superficie lunar y poder enviar los

datos a nuestro planeta.

Por supuesto una zona así no es exclusiva para el uso de satélites artificiales, sino que también tiene sus inquilinos naturales. El ejemplo más conocido es el de los asteroides que se encuentran orbitando el Sol en la misma órbita de Júpiter, pero atrapados en los puntos L4 (llamados griegos) y L5 (llamados troyanos) de ese planeta en un ángulo de 60° con respecto al Sol. Los satélites Telesto y Calipso están también en los puntos de Lagrange L4 y L5 del satélite Tetis del planeta de los anillos, así como la luna Dione tiene Helena y Pollux. Para la Tierra solo se conoce un asteroide troyano situado en L4 llamado 2010TK7, con un diámetro de unos 250 metros a 80 millones de kilómetros de nuestro planeta.

La historia de ISEE-3, una nave heroica

La nave ISEE-3 (International Sun-Earth Explorer) tiene posiblemente una de las historias más curiosas de toda la exploración espacial. En principio esta pequeña nave de menos de 500 kg diseñada por la NASA y la ESA tenía como objetivo situarse en el punto de Lagrange L1 entre la Tierra y el Sol (algo que no se había intentado nunca) para estudiar desde allí el viento solar, los rayos cósmicos y el ambiente espacial en esa peculiar región del espacio. Tras ser lanzada por un cohete Delta 2914 desde Cabo Cañaveral el 12 de agosto de 1978, la nave llegó el 20 de noviembre de ese año hasta el punto L1, y tras varios encendidos de sus pequeños motores logró orbitarlo de forma estable, siendo la primera sonda que llegaba a esa región. ¡Punto para ISEE!



Esquema de las maniobras llevadas a cabo por la sonda ISEE-3 (ICE) durante sus misiones científicas entre 1978 y 1986. Imagen: NASA/Goddard.

En 1981 fallaron las baterías de la nave y por tanto la NASA dio por finalizada su misión principal, pero en lugar de apagarla se decidió enviarla hacia nuestro planeta para estudiar la cola magnética terrestre. Como fuente de energía para sus instrumentos se utilizaría la electricidad que procedía directamente de los paneles solares sin pasar por la batería ya estropeada. De esta manera, el 10 de junio de 1982 la nave encendió sus toberas y puso rumbo a la Tierra,

realizando el primer estudio en profundidad de la cola magnética de nuestro planeta y realizando varios descubrimientos. ¡Otro punto para ISEE!

En agosto de 1982 el científico Robert Farquhar, de la NASA, propuso redirigir la nave hacia el cometa 21P/Giacobini-Zinner, algo que fue aprobado de inmediato. Por tanto la nave puso rumbo al cometa tras realizar varias maniobras que incluyeron cinco sobrevuelos cercanos a la Luna para cambiar su trayectoria y aumentar la velocidad para poder dirigirse al cometa. El último sobrevuelo de la Luna fue realizado en diciembre de 1983 a poco más de 120 kilómetros de altura y tras 16 meses de complejas maniobra espaciales. ¡Otro puntito para la pequeña ISEE!

Nada más poner rumbo al cometa 21P la nave fue renombrada como International Cometary Explorer (ICE, hielo en inglés, es que la NASA siempre nos deja helados con estos acrónimos). El 11 de septiembre de 1985 y tras otros 21 meses de vuelo la sonda ICE sobrevolaba el cometa a tan solo 7862 kilómetros de su núcleo, siendo la primera sonda que conseguía acercarse a un cometa. Durante el sobrevuelo envió numerosos datos y confirmó que los cometas están formados básicamente por hielo sucio. ¡Y sigue la racha de ICE, otro puntito más!

Sin mucho margen de maniobra, la sonda ICE «sobrevoló» el 28 de marzo de 1986 el mítico cometa Halley a una distancia de 30 millones de kilómetros. Sí, decir que lo sobrevoló es demasiado optimista, pero al menos pudo enviar datos del ambiente interplanetario tras el paso del cometa y cómo esto afectaba al viento solar. ¡Medio punto para ICE!

En diciembre de 1995, tras 17 años de exitosa misión (y habiendo acumulado 4,5 puntos en las exclamaciones que he puesto en los párrafos anteriores), la NASA decide jubilarla y deja de contactar periódicamente con ella a pesar de que seguía funcionando. En esa época ya había muchas sondas nuevas por el sistema solar y el tiempo de uso

de las antenas de seguimiento era escaso, así que se sacrificó la de mayor edad y menor rendimiento.

El 5 de mayo de 1997 la NASA volvió a apuntar una antena hacia ICE y comprobó que seguía encendida, por lo que dejó sus transmisores activados para poder localizarla en el futuro si era necesario, algo muy poco frecuente. Nuevos chequeos en 1999 y 2008 comprobaron que la nave era capaz de enviar señales y por tanto seguía viva con 12 de sus 13 instrumentos en marcha, aunque no fue usada para nuevas investigaciones. La humanidad al completo se olvidó de esta heroína hasta que en 2014 un grupo de científicos, ingenieros y programadores independientes con mucho ingenio, iniciativa y tremendamente aburridos se dieron cuenta de que la nave pasaría muy cerca de nuestro planeta en agosto de ese año. Esta sería una ocasión estupenda para comunicarse con ella y tal vez lograr que funcionara de nuevo de alguna manera, e incluso se podía hacer un intento para capturarla logrando una órbita estable cerca de la Tierra si podían encender sus motores tras 36 años desde su lanzamiento.

No había tiempo que perder y se formó un equipo llamado ISEE-3 Reboot Team (traducido es algo así como «vamos a dedicarnos a resucitar esta vieja sonda, porque no tenemos más habilidades sociales y en nuestra casa no nos quieren»), que en poco tiempo logró reunir más de 159 000 dólares en una campaña pública de recaudación de fondos. Con ese dinero se pudieron adquirir antenas, material electrónico y documentación que permitiera contar con algún sistema que lograra comunicarse con una sonda de casi 4 décadas de antigüedad y cuyos dispositivos originales de comunicación en las instalaciones de la NASA ya habían sido jubilados y destruidos hace tiempo, al tratarse de electrónica analógica que no tenía ninguna utilidad en las sondas actuales.

En muy poco tiempo el equipo de *hackers* espaciales logró alquilar y comprar diversas antenas, montar un equipo de seguimiento y programar los ordenadores

con lenguajes informáticos que ya no eran usados para enviar comandos y señales a ICE. Incluso la NASA cooperó con ellos para facilitarles documentación y *software*, así como la firma de un permiso especial para que pudieran trastear con la nave todo lo que quisieran. Debemos tener en cuenta que la nave seguía siendo propiedad federal y de la NASA, por tanto, legalmente había que firmar un documento llamado «Space Act Agreement» para tranquilidad de sus abogados.

El 29 de mayo se estableció con éxito el primer contacto con la nave y el 26 de junio se recibieron señales que permitieron conocer mejor su órbita y distancia. El 2 de julio se envió un comando a la nave para que hiciera un encendido de prueba de sus motores por primera vez en 27 años y para sorpresa de todo el mundo la nave los encendió durante el tiempo que estaba programado, logrando disminuir con éxito su velocidad de giro. Tras este éxito (¡y otro punto más para ICE!), el 8 de julio se enviaron los comandos necesarios para un encendido más largo que dejara a la nave en órbita terrestre, pero por desgracia el intento falló ya que la nave no daba más de sí. El análisis de los datos parecía indicar que en la nave quedaba combustible, pero el nitrógeno que lo empuja hacia el motor se había acabado, haciendo imposible el encendido.

Por tanto la sonda siguió su camino y el 10 de agosto sobrevoló la Luna a 15 600 km de distancia, tal y como estaba previsto antes de planificar el rescate. Un poco antes de que el 16 de septiembre la nave enmudeciera debido a la cada vez mayor distancia al Sol, los ingenieros lograron descargarse todos los datos almacenados que habían adquirido los 5 instrumentos que seguían funcionando. La nave seguirá en una órbita alrededor del Sol y en el año 2031 volverá a pasar por las inmediaciones de nuestro planeta. ¿Vamos ya recaudando fondos para rescatar a esta heroína?

La historia de AsiaSat 3. Reinventándose en el espacio

Nos encontramos en el día de Nochebuena de 1997, cuando desde las llanuras de Baikonur despega un cohete ruso Proton-K con un satélite comercial de telecomunicaciones de 3500 kg llamado AsiaSat 3. Hasta aquí todo normal, es una escena que se repite muchas veces a lo largo del año en todo el mundo para enviar satélites de comunicaciones al espacio. Este tenía la labor de proveer de comunicaciones y de televisión a buena parte del continente asiático, una vez que llegara a situarse en una órbita geosincrónica a 36 000 km de altura en la posición 105,5° este. Sin embargo, un fallo temprano en la cuarta etapa del cohete dejó al satélite en una órbita inclinada y muy elíptica de 203 x 36 000 km que no servía para su misión, y aunque al aparato no le pasaba nada, su órbita era irrecuperable. Se pagó el seguro del satélite y la empresa Hughes Global Services se hizo cargo de él, cambiándole el nombre a HGS-1 y con una cláusula firmada por la cual si obtenía beneficios de alguna manera tendría que compartirlos con la empresa aseguradora, algo que se hacía como formalidad pero que nadie jamás pensó que se podría llegar a cumplir.

Imagen de un satélite de la serie Zenit-2 en el proceso de ensamblaje. Los 3 círculos de la parte superior esférica son las aperturas para los telescopios de las cámaras. Imagen: OKB-1.

Pero como la mecánica orbital puede hacer maravillas si piensas diferente y te arriesgas un poco, se propusieron dos alternativas para realizar una operación de rescate y salvar el satélite. La primera opción fue propuesta por dos especialistas (el artista y científico Edward Belbruno y el ingeniero espacial Rex Ridenoure) y consistía en enviar al satélite en una larga órbita de unos 4 meses hasta la Luna y que a la vuelta dejaría al satélite en una órbita geoestacionaria sobre el ecuador y en perfecta posición. La segunda

alternativa fue presentada por Jerry Salvatore, de la propia empresa Hughes, y que consistía en enviar al satélite hacia la Luna en una trayectoria mucho más directa de 9 días y que dejaba al satélite en órbita geosincrónica pero con inclinación reducida de los 51° originales a tan solo 11°, no tan perfecta como la primera opción.

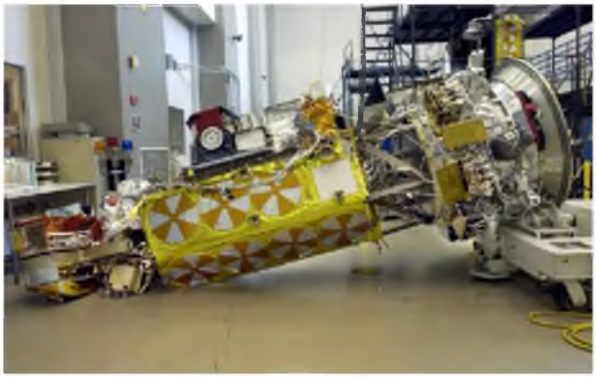
Finalmente se puso en marcha la segunda opción de Hughes, ya que la empresa comentó que no tenía los medios necesarios como para seguir un satélite durante tanto tiempo estando tan lejos como la Luna. Desde luego parece claro que la segunda alternativa fue inspirada por la primera opción de Belbruno y Ridenoure, aunque Hughes lo negara. De hecho la compañía patentó esta órbita y este tipo de rescates en cuanto la tuvo completamente diseñada.

De esta manera, en marzo de 1998 el satélite comenzó a realizar encendidos de su motor para ir haciendo más grande su órbita y subir su apogeo poco a poco a lo largo de decenas de órbitas en espiral durante dos meses. Tras ese periodo pudo lograr una órbita rápida que lo llevara en un viaje de ida y vuelta a la Luna, sobrevolando el 13 de mayo nuestro satélite a una altura de 6200 km y a 34 300 km el 6 de junio, siendo la primera nave comercial en hacerlo. Finalmente, y tras varias maniobras complejas de 46 y 2 minutos de duración, acabó entrando el 17 de junio en una órbita geoestacionaria tras otro encendido de su motor de 12 minutos, y posteriormente fue trasladado a la posición orbital provisional de 150° oeste. Tras toda esta peripecia el satélite solo tenía la mitad del combustible original, lo cual le permitiría funcionar solo la mitad de su vida útil prevista, aunque desde luego eso era mucho mejor que perderlo del todo. Pero como no iba a ser todo perfecto, uno de los paneles solares no pudo desplegarse debido a los cambios bruscos de temperaturas sufridos durante las maniobras y el satélite tuvo que funcionar con la mitad de la energía disponible. En 1999 el satélite fue vendido por Hughes

a la empresa PanAmSat, y por tanto tuvo que dar parte de sus ganancias a la sorprendida aseguradora, tal y como estipulaba el contrato. Su nueva empresa lo llevó hasta la posición orbital 60° oeste (pero oscilando 11° hacia arriba y hacia abajo cada día) para ser usado sobre Norteamérica, y lo renombró como PAS-22, estando en funcionamiento hasta julio de 2002. Toda una aventura para un típico y aburrido satélite de comunicaciones.

Despistes que cuestan 135 millones de dólares

Imaginaros que un día estáis en el trabajo moviendo unas cajas o utilizando algún material muy valioso de la empresa. De pronto, aquello se os cae al suelo y destruís la labor de cientos de personas, provocando un coste en destrozos de más de 135 millones de dólares. Yo desde luego no me lo puedo ni imaginar, ni tampoco me puedo poner en el pellejo de los técnicos que el 6 de septiembre de 2003 se encontraban en las instalaciones de Lockheed Martin, en California, trabajando con un caro y complejo satélite meteorológico conocido hasta ese momento como NOAA-N. El satélite ya estaba casi finalizado y tenía unas dimensiones superiores a los 4 metros de altura y dos metros de diámetro, para un peso total de 1500 kg, por lo que estaba listo para subir al cohete a falta de algunas pruebas de estabilidad. A bordo del satélite se encontraban numerosos y sofisticados instrumentos como varias cámaras de luz visible e infrarroja para estudiar la vegetación, las nubes y el agua, sensores de microondas para medir la humedad en la atmósfera. También llevaba unos nuevos sensores para medir el dióxido de carbono, el agua y el ozono atmosférico, otros sensores para partículas, temperaturas y velocidades de las corrientes marinas, así como un sistema de ayuda en el rescate de emergencia de embarcaciones. Toda una joya y el nuevo orgullo de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) que le permitiría profundizar en el conocimiento y el estado de nuestro planeta.



Cuando necesitas varios años para diseñar y construir una complejísima máquina hecha con los mejores y más caros materiales, lo último que necesitas es estrellarla contra el suelo. Imagen: NOAA.

Ese día el satélite iba a ser sometido a una pruebas, para lo cual fue anclado en posición vertical sobre una plataforma que permitía inclinarlo y moverlo en horizontal para conocer su centro de gravedad y poder ser equilibrado. Un técnico pulsó el botón para que la plataforma comenzara a ponerse en horizontal y segundos después, cuando llegó a unos 13° de inclinación y sin previo aviso, el satélite se separó de la plataforma y cayó estrepitosamente al suelo. La caída destrozó toda la parte superior donde se alojaban varias antenas e instrumentos y dejó muy tocada la integridad de la estructura del resto de la nave, con muchos de sus instrumentos posiblemente dañados debido a la alta sensibilidad de sus componentes.

Tras el infarto inicial, la zona fue asegurada y se puso en marcha una comisión de investigación, en la cual todos los técnicos de los diversos equipos que trabajaban en el satélite fueron interrogados. Se revisó toda la documentación y las grabaciones de las cámaras de seguridad y se inspeccionó a fondo la plataforma. Durante las siguientes semanas, el satélite tuvo que ser desmontado pieza a pieza y todos los instrumentos y los componentes fueron a su vez

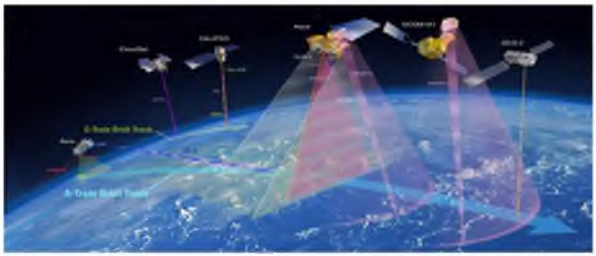
extraídos y analizados en profundidad, para sustituir o reparar aquellas partes que hubiesen quedado dañadas por el impacto. Una vez revisado todo el satélite por completo durante meses, se volvió a ensamblar y fue sometido de nuevo a numerosas pruebas antes de ser llevado al cohete para su lanzamiento. Todas estas tareas provocaron un retraso de más de dos años en la misión y un coste adicional para el proyecto estimado en unos 135 millones de dólares, que fueron pagados entre la empresa constructora y el Gobierno de los Estados Unidos. La investigación concluyó que el accidente se debió a la incompetencia de un técnico, que quitó los 24 tornillos que sujetaban la nave al soporte y no lo dejó apuntado en el registro de operaciones del satélite. Por si fuera poco, el equipo que estaba encargado de inclinar el satélite tampoco se aseguró de la presencia de los tornillos antes de comenzar las operaciones de inclinación. Esto es un paso obligatorio y que se debe realizar antes de proceder al movimiento de un satélite. Dos graves fallos consecutivos en el procedimiento de trabajo, debido a la dejadez o la incompetencia, que costaron muchos millones de dólares. Finalmente el 6 de febrero de 2009, el satélite renombrado como NOAA-19 fue lanzado al espacio por un cohete Delta II desde California, con el objetivo de estudiar el medioambiente de nuestro planeta durante al menos dos años y que por suerte (y el trabajo bien hecho) sigue funcionando en la actualidad.

A-Train. El tren de la tarde

Hay una famosa frase que dice «La unión hace la fuerza», y en este caso espacial es completamente verdad. Desde hace unas décadas la agencia espacial francesa CNES, la europea ESA, la japonesa JAXA y la NASA mantienen un completo programa de observación de nuestro planeta con numerosos satélites que estudian la atmósfera, las nubes, el agua, los aerosoles, la deforestación y el medioambiente. Para ello utilizan siempre las órbitas polares que permiten recorrer toda la superficie de nuestro planeta en poco tiempo y abarcar cualquier región de tierra firme o del océano a la misma hora del día y todos los días del año, en las conocidas como «órbitas polares heliosincrónicas», que permiten estudiar cualquier objetivo con la misma iluminación todos los días. Ya que estos organismos llevan a cabo investigaciones con satélites muy diferentes pero en órbitas muy parecidas, se decidió sumar las fuerzas y colocar a todos los satélites en la misma órbita y uno detrás del otro, con una separación entre ellos de unos pocos minutos o segundos. De esta manera cualquier fenómeno de la atmósfera, del océano o del suelo era estudiado por todos los satélites de forma simultánea con pocos minutos de diferencia y adquiriendo de esta modo una información mucho más completa y valiosa tras compartir los datos. En la práctica es como si entre todos formaran un supersatélite que tuviera todos los instrumentos de todos los satélites en uno solo y con una amplísima variedad de sensores que permiten realizar estudios en muchas longitudes de onda diferentes. Para ello se decidió usar una órbita que pasara por el ecuador de sur a norte todos los días a las 13:30 hora local, por lo que esta constelación de satélites fue nombrada como «El tren de la tarde» (Afternoon Constellation, Afternoon Train o A-Train).

El primer componente original del grupo fue el satélite Aqua (NASA), lanzado en el año 2002, y que fue seguido por Aura (NASA) y Parasol (CNES-ESA) en el 2004. Ya que los dos primeros comienzan por «A», la

NASA le puso originalmente el nombre de A-Train por esta razón, aunque más tarde le puso el nombre más comercial que ya conocemos. En 2006 se unieron al tren desde un mismo lanzamiento los satélites CloudSat (NASA) y Calipso (CNES-NASA). En 2012 llegó GCOM-W1 (JAXA) y OCO-2 (NASA) en 2014, que fue colocado en cabeza. Fallos intermitentes en Parasol hicieron que fuera expulsado del grupo y transitara con fallos intermitentes por una órbita 10 km más baja, hasta que en 2013 dejó de funcionar. Tras varios fallos en su sistema de maniobras, el satélite CloudSat también fue sacado del trenecito en 2018 y su solidario compañero Calipso lo siguió poco después, para continuar estudiando la atmósfera conjuntamente desde una órbita cercana.



Estos «trenes» de satélites científicos llamados A-Train y C-Train examinan todos los días nuestro planeta con una amplia batería de instrumentos. Imagen: NASA.

En la actualidad tenemos al grupo dividido, pero no separado con Aura, Aqua, GCOM-W1 y OCO-2 formando el A-Train por un lado y la parejita Calipso y CloudSat por el otro, volando 16 km por debajo de ellos en el lógicamente llamado C-Train, que coincide de forma regular con las trayectorias del A-Train. Está claro que cuando las agencias espaciales quieren, la suma de sus esfuerzos siempre es mayor que sus esfuerzos por separado, por lo que proyectos así deben ser el ejemplo a seguir.

Ha nacido la grúa espacial

A quién no le ha pasado alguna vez que va por la carretera y de pronto el coche falla o se queda sin gasolina. Tras lamentarte por tu mala suerte coges el teléfono y llamas a la grúa para que te lo arregle, lo lleve al taller o lo deje en tu casa. Algo tan sencillo en el espacio no es posible, no hay a quién llamar para que te arregle ese satélite que se ha quedado sin combustible, al menos hasta ahora. La empresa ViviSat fue la primera en plantearse un sistema de apoyo a satélites en funcionamiento y, a pesar de su prometedor futuro, fue disuelta y adquirida por Orbital ATK. Esta empresa unos años después también fue disuelta y adquirida por la poderosa Northrop Grumman, una histórica del sector espacial y militar que los desarrolla bajo su marca SpaceLogistics LLC. Tras 10 años de desarrollo y cuatro nombres de empresa diferentes para el proyecto, el MEV-1 (Mission Extension Vehicle 1) de 2300 kg fue lanzado el 9 de octubre de 2019 en un cohete Proton-M rumbo a la órbita geoestacionaria a 36 000 km de altura. Allí tenía un reto por delante: debía buscar, acercarse y acoplarse al satélite Intelsat 901, que fue lanzado en junio del año 2001 por un cohete Ariane 4 hacia la posición 18° oeste para proporcionar servicios de telecomunicaciones en Europa hasta por lo menos el año 2014. Por tanto, en 2019 el satélite ya había agotado casi todo su combustible para maniobrar y había sobrepasado con creces su vida útil, por lo que fue propuesto por Intelsat para probar los servicios de MEV-1. El satélite salió por sus propios medios de su posición orbital y se trasladó a una «órbita cementerio» (donde son trasladados los satélites geoestacionarios que han dejado de funcionar) como medida de precaución, ya que si el ensayo salía mal y MEV-1 chocaba contra Intelsat 901 podría dejar llena de basura espacial toda la posición orbital de Intelsat. Una vez apartado de su órbita, MEV-1 realizó las maniobras de acercamiento, y con una lanza extensible agarró a Intelsat 901 a través de su motor

principal, quedando firmemente anclados el 25 de febrero de 2020. ¿Y ahora qué? ¿El MEV-1 traspasaría combustible al Intelsat 901? ¿Cómo lo haría si Intelsat 901 no fue diseñado para eso? Pues todo es mucho más sencillo, puesto que en realidad MEV-1 ha pasado a ser parte de Intelsat 901 y estará acoplado a él como una mochila mientras funcione. No hay trasvase de combustible ni nada, simplemente MEV-1 será el motor que moverá y orientará a Intelsat 901 donde y cuando lo necesite. Tras unas semanas de ensayos MEV-1 comenzó a desplazarse cargando con Intelsat 901 hasta la posición orbital 27,5° oeste y el 2 de abril volvió a entrar en funcionamiento para prestar de nuevo sus servicios durante al menos cinco años, que es la vida estimada que le quedan a sus baterías. Cuando transcurra este periodo el MEV-1 volverá a llevar a Intelsat 901 a la órbita cementerio, se separará y buscará su próximo cliente, proceso que repetirá mientras tenga combustible para las maniobras.

Una segunda nave rescatadora llamada MEV-2 de 2800 kg de peso fue lanzada el 15 de agosto de 2020 con un Ariane 5, esta vez en busca del satélite de comunicaciones Intelsat 10-02. Este satélite de 5,5 toneladas lleva operativo desde el año 2004 prestando servicios de telefonía e Internet en Europa, África, Oriente Próximo y Sudamérica en la posición 1° oeste y con muy poco combustible en sus tanques. En esta ocasión la confianza en el operativo fue mucho mayor, ya que el Intelsat 10-02 se dejó en funcionamiento en su órbita y el acoplamiento se produjo sin interrumpir los servicios proporcionados por el satélite. Ambas naves permanecerán unidas al menos cinco años, y cuando finalice sus servicios el MEV-2 buscará otro satélite al que rescatar. Sin duda, este sistema abre un mercado espacial completamente nuevo y rentable, puesto que (especulando) si un satélite con una vida útil de 15 años cuesta 300 millones de euros, nos sale a 100 millones cada 5 años, y si MEV presta servicios a un precio menor, ya sale rentable para la compañía de telecomunicaciones. Y si

luego el MEV puede seguir prestando servicio a otros satélites, la rentabilidad ya es completa también para Northrop Grumman. Para 2024 esperan proporcionar servicios de inspección y reparación, y en la próxima década servicios de repostaje, eliminación de basura cercana y ensamblaje de satélites en el espacio. Sin duda la tecnología, la robótica y la inteligencia artificial revolucionarán el sector espacial en los próximos años.

Capítulo 5

La basura espacial.
Historias de un despropósito

¿Qué es la basura espacial?

La especie humana es agresiva y egoísta, destrozamos todo aquello que tocamos. Y además somos egoístas tan profundos que no nos importa destrozar nuestro propio futuro a cambio de un beneficio a corto plazo. Entendería que siendo egoístas destrocemos algo que no nos afecte, pero estropear algo de lo que depende tu propio futuro, el de tus hijos y el de toda la especie es una muestra de que no somos muy inteligentes todavía. Un ejemplo claro es la basura que creamos. En nuestro planeta Tierra la contaminación con basura, plásticos y productos químicos de los ecosistemas, el aire y el agua es un gigantesco problema a nivel mundial que tendremos que resolver si queremos seguir viviendo aquí, por el bien de nuestros descendientes y por toda la vida del planeta. Por otro lado el cambio climático nos va a pillar sin los deberes hechos y aunque hay cosas en las que vamos mejorando, no somos lo bastante rápidos para evitar un desastre en el futuro. Estos dos problemas son prioridades a resolver urgentemente por la especie humana si queremos seguir existiendo un tiempo más. Y como somos así de inteligentes, también hemos llevado al espacio el problema de la basura, pero desde un punto de vista diferente. Aquí por suerte no estamos dañando plantas o animales, ni contaminando el agua o el aire, simplemente porque no hay nada que contaminar. Aquí el problema de la basura afecta sobre todo al futuro del propio desarrollo tecnológico y humano en el espacio, ya que la acumulación de fragmentos de satélites y cohetes (la llamada «basura espacial») pondrá en serio peligro la presencia humana en el espacio y afectará a nuestras actividades allí arriba, porque acabará con muchos de los servicios que nos ofrecen los satélites. Y esto desde luego tendrá repercusiones económicas importantes, ya sea por interrupciones temporales más o menos largas de servicios, por costosas maniobras espaciales para evitar la basura y por un mayor gasto en la protección de los satélites.

El espacio es muy grande, cierto. Con un simple cálculo matemático podemos conocer cuánto mide la superficie de una esfera cualquiera, que será el resultado de multiplicar 4 por el número pi y por el radio de esa esfera al cuadrado ($S = 4\pi r^2$, ¡una fórmula!). De esta manera nuestro planeta Tierra, que tiene un radio de 6371 km, posee una superficie de aproximadamente 510 millones de kilómetros cuadrados. Si subimos a una órbita de 400 km de altura, la superficie imaginaria que rodea a la Tierra tendría una extensión de 576 millones de kilómetros cuadrados y eso es mucho espacio. Teniendo en cuenta que en el espacio podemos movernos en órbitas entre los 200 y muchos miles de kilómetros hacia arriba, el volumen de espacio disponible para los satélites es gigantesco. Sin embargo llevamos más de 60 años lanzando objetos de todo tipo, tamaño y forma al espacio y el número va en aumento a un ritmo alarmante, en muchas ocasiones sin control y sin que sepamos dónde están. Ahora mismo la situación es muy preocupante pero todavía no es crítica, aunque no hará falta mucho tiempo al ritmo que vamos para pasar de una situación a la otra, y la prueba la tenemos en la cantidad de congresos y reuniones que están llevando a cabo la agencias espaciales para tratar el tema. ¿Actuaremos aquí a tiempo o diremos que son alarmismos sin fundamento y esperaremos a que sea demasiado tarde, como con la contaminación y el cambio climático? No soy muy optimista tampoco en este asunto.

Pero ¿qué es exactamente la basura espacial? Supongamos que acabamos de lanzar un satélite al espacio, lo colocamos en su órbita de trabajo y comienza a funcionar. Ahí tenemos un dispositivo que estará en uso varios años cumpliendo una función, por tanto es un aparato útil. Normalmente la primera etapa del cohete que lo ha llevado al espacio queda en una órbita o altura baja y suele reentrar en la atmósfera poco después del despegue. Sin embargo la segunda etapa (o las últimas etapas) del cohete

también se queda en órbita, pero ya no tiene ninguna función que cumplir, por lo que es considerada como una pieza más de basura espacial. Y todo eso sin incluir muchas veces a todos los dispositivos que conectan al satélite y al cohete, adaptadores, conectores, mecanismos de despliegue y otras partes que pueden separarse una vez en órbita. ¿Y qué ocurre con nuestro satélite cuando acaba su vida útil un tiempo después? Pues que en ese momento también pasa a ser considerado como otra pieza más de basura espacial, puesto que ya no es posible controlarlo ni tampoco desarrolla ninguna actividad práctica. Teniendo en cuenta que llevamos décadas lanzando todo tipo de cosas al espacio, con infinidad de diferentes cohetes y sin tener mucho cuidado (hasta hace poco), podemos imaginar que el espacio que rodea a nuestro planeta es toda una chatarrería de alta tecnología de los últimos 60 años y que tratamos como si fuera un pozo sin fondo.

Básicamente cualquier objeto que se encuentre ahora mismo en el espacio puede ser considerado como un elemento más de la basura espacial y un potencial generador catastrófico de otros muchos fragmentos de basura. Un satélite que finaliza su vida útil, alguna pieza suelta o una etapa de cohete se convierte en un objeto inerte que sigue orbitando nuestro planeta a toda velocidad y que en cualquier momento puede encontrarse potencialmente con otro objeto y chocar contra él, provocando una explosión y sembrando de más basura el espacio. Y mientras ese satélite esté de una pieza no es un problema demasiado importante, ya que es un objeto grande y rastreable. Pero si por desgracia una de sus baterías explota debido a las duras condiciones del espacio o uno de sus tanques de combustible revienta, tendremos una nube de escombros generada por la explosión y que acompañará al satélite principal en su órbita, para luego dispersarse y llegar a rodear todo el planeta. Y lo mismo ocurre para las etapas de los cohetes que quedan en órbita tras lanzar sus cargas,

con enormes tanques de combustibles que no siempre consumen y con baterías que darán problemas con el tiempo. Esas decenas, centenares o miles de nuevos fragmentos de metal, pintura, combustible congelado, cables y plásticos se irán diseminando por muchas órbitas y a la larga podrían acabar chocando contra otros satélites, generando a su vez nuevos fragmentos. Y por si fuera poco, como la cantidad de satélites va subiendo sin control, de vez en cuando se producen colisiones entre ellos, provocando las peores catástrofes en relación con la cantidad de nuevos fragmentos generados. Todo esto, junto con los lamentables ensayos militares de destrucción de satélites que ocurren de vez en cuando, para asombro de la comunidad internacional, tenemos toda una pesadilla servida en bandeja.

En resumen, la basura espacial es un problema mundial que va en aumento y que es generada por:

- Satélites que finalizan su vida útil.
- Cohetes y componentes que quedan en órbita tras lanzar el satélite.
- Explosiones en satélites y cohetes debido a la explosión de baterías o tanques de combustible.
- Impactos de restos existentes contra otras etapas de cohetes, satélites inactivos o en funcionamiento.
- Impactos de satélites (operativos o desactivados) entre sí.
- Explosiones generadas por pruebas militares en satélites.

Fecha	Satélite	Fragmentos >10 cm
11 de enero de 2007	FY-1C	3500
10 de febrero de 2009	Cosmos 2251	1668
3 de junio de	Cohete	754

1996	Pegasus (Step-2)	
10 de febrero de 2009	Iridium 33	628
Durante 2008	Cosmos 2421	509

Listado de los cinco eventos que más fragmentos han producido hasta la fecha (mediados de 2021). El peor evento fue producido por la prueba militar china contra el satélite FY-1C en 2007, y el segundo por el impacto del satélite Cosmos 2251 contra el Iridium 33 el 10 de febrero de 2009, provocando 2300 nuevos restos entre ambos satélites. Tabla: elaboración propia.

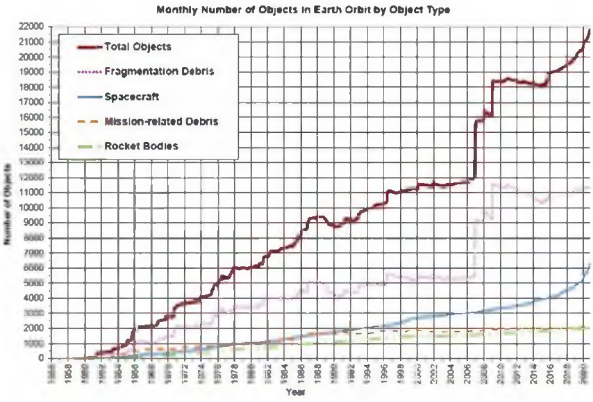
Estos eventos generadores de nueva basura espacial son por desgracia bastante frecuentes y suelen ocurrir entre 5 y 20 veces en un año, para un total registrado de 570 incidentes graves hasta mediados de 2021. El año 2020 fue un año relativamente tranquilo, ya que «solo» ocurrieron 5 eventos de este tipo provocados por la explosión y rotura de varios satélites y cohetes, que añadieron 625 nuevos fragmentos al espacio. Como vemos, esto es un problemón puesto que cada vez tenemos más satélites en órbita y los más antiguos van envejeciendo cada año y por tanto aumentando la posibilidad de crear nuevos eventos catastróficos. Y si a todo eso le sumamos los impactos de esa basura contra otros objetos, la nueva basura creada por los impactos y experimentos militares de los que hemos hablado, la cosa pinta muy mal para el futuro a medio plazo.

¿Cuánta basura hay en el espacio?

Vale, la cosa parece preocupante, pero ¿cuánta basura hay actualmente en el espacio? ¿De cuántos fragmentos estamos hablando? Pues espero que estés en tu sofá porque vamos con los datos:

- Hay unos 34 000 objetos con un tamaño entre los 10 cm y los 15 m, de los cuales tenemos alrededor de 28 500 catalogados y localizados como basura espacial, siendo el resto satélites en activo.
- Hay otros 900 000 fragmentos con unas dimensiones de entre 1 y 10 cm, para los cuales no tenemos los medios necesarios para saber dónde están, lo desconocemos todo sobre ellos.
- A eso hay que sumar otros 130 millones de fragmentos con un tamaño de entre 1 mm y 1 cm, que por supuesto son también imposibles de rastrear.
- Entre todos suman unas 9500 toneladas de metal, plástico y otros materiales.

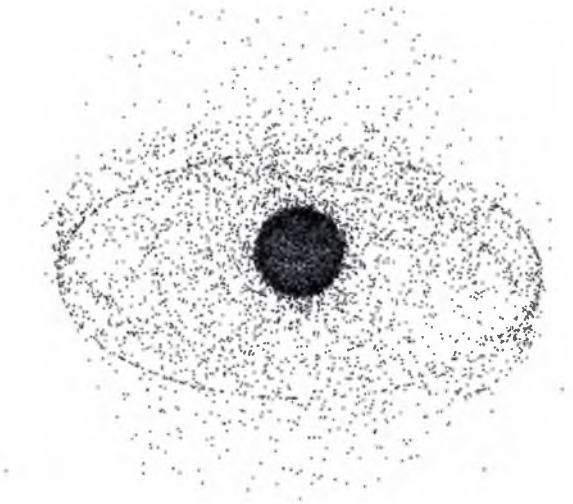
Para complicar más las cosas, la basura espacial se distribuye por todas las alturas posibles e inclinaciones imaginables, estando hasta un 56 % de toda esa basura por debajo de los 2000 km (las órbitas conocidas como órbitas bajas o Low Earth Orbit [LEO], y que son las más utilizadas). En ese tramo, la mayor parte se concentran entre los 750 y los 1000 km de altura, que son las regiones en las que se mueven buena parte de las constelaciones y satélites militares, de posicionamiento, de observación de la Tierra y de comunicaciones. Hay que tener en cuenta que un fragmento de basura que se encuentre por encima de los 1000 km no experimentará ningún rozamiento atmosférico mientras se desplaza, ya que nuestra atmósfera es casi inexistente a esa altura y por tanto quedará orbitando nuestro planeta durante miles o decenas de miles de años.



Suma total de todos los objetos en órbita cada año, incluyendo la basura espacial. Podemos ver dos aumentos bruscos en 2007 y 2009 debido a eventos destructivos en órbita y también cómo la cantidad total empieza a subir exponencialmente desde 2016, lo que podría traer una escalada de basura en los próximos años. Imagen: ODQN/NASA.

Si hablamos de la altura de los satélites geoestacionarios, su presencia se mide ya en millones de años o directamente como indefinida. En la región de mayor concentración de satélites y basura (de 750 a 1000 km), el periodo medio de decaimiento hasta desintegrarse en la atmósfera ronda los dos o tres siglos, y a unos 500 km de altura los satélites pueden tardar unas cuantas décadas en caer, así que como vemos esto no es algo que se vaya a arreglar por sí solo ni en poco tiempo. En las órbitas cercanas a la altura de la Estación Espacial (400 km) la densidad atmosférica ya es mayor y muchos de los objetos caen en pocos años o meses, por lo que estas órbitas y las muy bajas (<300 km) no suelen ser un problema, dado que los restos se limpian relativamente rápido gracias a nuestra hambrienta atmósfera. El gran problema que tenemos es que todo lo que quede más arriba de la ISS (>400 km) irá bajando muy poco a poco y al final terminará pasando por las alturas de las órbitas bajas y cualquier estación espacial o satélite en LEO siempre estará muy expuesto al peligro de los

impactos.



Lo que se esconde debajo de esa maraña es nuestro planeta, rodeado de varias capas de satélites, cohetes y basura espacial, siendo muy apreciable el anillo de satélites geoestacionarios que nos rodea. Puedes ver la situación en tiempo real en las webs www.stuffin.space y sobre todo en www.celestrak.com. Imagen: NASA/ODQN.

Esto es una auténtica locura, ya que a las velocidades a las que se mueven todos esos objetos en el espacio, basta un minúsculo fragmento de unos pocos milímetros para cargarse un panel solar o una antena. Y con un tamaño de 1 cm ya puede agujerear la Estación Espacial o reventar cualquier satélite con el que se cruce. Hasta el año 2007 la práctica totalidad de la basura espacial era generada por las explosiones accidentales de los cohetes y los satélites, pero desde esa fecha y debido a los ensayos militares y los impactos entre satélites (como el producido en 2009 entre el Iridium 33 y el Cosmos 2251), la cantidad de fragmentos creada por este nuevo tipo de incidentes representa ya casi el 40 % del total y sigue en aumento. Pero ¿cómo hemos llegado hasta aquí?

La irresponsabilidad de llenar el espacio de basura... a propósito

La historia de las paranoias en los Estados Unidos es muy amplia y esta es una más de la larga lista, pero lo cierto es que resulta bastante llamativa. Nos situamos en plena Guerra Fría y en los comienzos de la carrera espacial, a finales de los años cincuenta y principios de los sesenta, cuando nuestros amigos norteamericanos se dan cuenta de que todas las comunicaciones mundiales (y sobre todo las militares) dependían de unos primitivos cables submarinos que recorrían los océanos, así como de las emisiones de radio que se enviaban de una parte del mundo hasta la otra. Para ello se hacían rebotar las señales de radio de onda corta en la ionosfera, ya que debemos tener en cuenta que en esa época todavía no teníamos satélites de comunicaciones en el espacio, al estar en pañales la carrera espacial. Por tanto, y para no depender de una ionosfera inestable a merced de las tormentas solares o de los sospechosos cortes de cables provocados por unos hipotéticos submarinos rusos, las mentes más brillantes del Ejército pensaron en una solución que en su cabeza sonaba espectacular y que bautizaron como el **proyecto West Ford**. Este proyecto consistía en el envío al espacio de 500 millones de agujas de cobre (¡¡500 000 000!!) para que actuaran como mini antenas y formaran una nueva ionosfera artificial alrededor del planeta que podrían controlar ellos mismos. ¿Qué podía salir mal? Así pues, se pusieron manos a la obra y fabricaron toda esa descomunal cantidad de agujas con una longitud de 1,78 cm cada una y un diámetro de 25 micras, que funcionarían como antenas dipolo en la frecuencia de los 8 GHz.

Tamaño de las agujas del proyecto West Ford en comparación con un sello postal. Sueltas no son un problema, pero hay decenas de miles de aglomeraciones de estas agujas que estarán miles de años en el espacio. Puedes comprobar su situación actual en la web www.stuffin.space. Imagen: NASA/US Post Office.

Una vez fabricadas se lanzaron al espacio en un cohete el 21 de octubre de 1961 en la misión **Midas 4**, pero (¡sorpresa!) las agujas no se dispersaron como estaba previsto debido al rozamiento producido entre ellas y al material donde se encontraban durante el lanzamiento. Como consecuencia, en lugar de separarse se quedaron aglomeradas en miles de bloques formados por cientos de miles de agujas cada uno, a modo de enormes marañas de agujas moviéndose a casi 8 km/s. Dado el estrepitoso fracaso se llevó a cabo otro lanzamiento (¡que no decaiga!) que tuvo lugar el 9 de mayo de 1963 en la misión **Midas** 7. Este nuevo satélite logró su objetivo al desplegar millones de antenitas espaciales, que quedaron dispersas en su órbita y sobre las que se realizaron varios ensayos de comunicaciones con éxito. Pero (¡sorpresas que da la vida!) se dieron cuenta de que los nuevos satélites que se estaban construyendo servirían para llevar a cabo las mismas comunicaciones de forma más segura y que por tanto

el proyecto no serviría para nada. Mientras tanto cientos de millones de pequeñas agujas quedaron alrededor de nuestro planeta en una órbita a 3500 km de altura y con una inclinación casi polar de 97°, toda una catástrofe para la seguridad orbital en el futuro y como gran recordatorio de lo idiotas que somos. Por supuesto todo este proyecto fue objeto de fuertes protestas en Reino Unido, la Unión Soviética e incluso por parte de la ONU. El embajador de los Estados Unidos ante el organismo internacional hizo una fuerte defensa del proyecto y explicó que estaba tranquilo porque se había informado bien y que la presión de la luz y el viento solar harían que en menos de tres años todas las agujas ya hubiesen reentrado en nuestro planeta debido a su bajo peso, incluso en esas órbitas tan altas. Tal vez tuviera razón respecto a su bajo peso, pero 60 años después al menos **40 000** de esas aglomeraciones con al menos **750 000** agujas siguen estando en órbita terrestre listas para liarla parda en cualquier momento.

Años después seguíamos con nuevas burradas. En 1979 se lanzaba un pequeño observatorio solar de 1300 kg de peso que orbitaba tranquilamente nuestro planeta a una altura de 545 km y llamado **Solwind**, también conocido con el nombre más técnico de P78-1 y perteneciente al Departamento de Defensa de los EE. UU. Este observatorio se dedicaba a analizar nuestra estrella con diversos instrumentos como espectrómetros, coronógrafos y otros sensores con los que además se apuntó el tanto de ser el primer satélite que descubrió un cometa desde el espacio. Con sus cámaras descubrió 9 de ellos, la mayoría del tipo «sungrazing» o «rasantes del Sol» caracterizados por pasar extremadamente cerca de nuestra estrella y finalizar su andadura desintegrados o cayendo directamente a la superficie solar. Llegamos a 1985 y las baterías del observatorio comenzaron a flaquear, por lo que la actividad científica era mucho más limitada pero no imposible. Mientras tanto la Fuerza Aérea presionaba para finalizar la misión, ya que

muchas de las comunicaciones con la nave se realizaban a través de su red de antenas AFSCN, ocupando su precioso tiempo que podían dedicar mejor a sus caros juguetes militares. A los pocos días, la Fuerza Aérea comunicó de manera unilateral al equipo de la misión científica que su observatorio solar había sido agraciado, al ser elegido como objetivo para una prueba del misil antisatélites ASM-135. El 13 de septiembre, y sin más contemplaciones, un avión F-15 Eagle lanzaba el cohete armado contra el satélite, que se encontraba a 525 km de altura en ese momento, ante la indignación y la impotencia de la comunidad científica. Como resultado, el observatorio Solwind quedó fragmentado en al menos 300 pedazos que se mantuvieron muchos años en órbita, decayendo el último de ellos en el año 2008, casi tres décadas después del ensayo. No solo hicieron un acto irresponsable, sino que además tumbaron un satélite funcional, pero al ser suyo y tener una orden firmada «desde lo más alto», tuvieron luz verde para desintegrarlo ignorando las peticiones de los científicos.

Un avión F-15 Eagle lanzando el misil ASM-135 contra el observatorio Solwind a 545 km de altura. Imagen: USAF.

Y como todo puede ir a peor, el 11 de enero de 2007 fue otro día que pasó a la historia más negra de la astronáutica, ya que esa mañana China se despertó con malas pulgas y lanzó un misil modelo SC-19 cargado con un proyectil cinético (que no lleva explosivos, sino que causa su daño por la velocidad e impulso que lleva) dirigido hacia el satélite meteorológico **FY-1C**, que se encontraba en una órbita polar a una altura de 863 km de altura. El proyectil de 600 kg impactó a una velocidad relativa de 9 km/s contra el satélite, que tenía una masa de casi 800 kg. Como consecuencia del impacto, se formó una gigantesca nube de fragmentos de basura espacial, con una estimación inicial de hasta 3500 trozos de más de 10 cm y otros 32 000 fragmentos más que no

pudieron ser localizados dado su pequeño tamaño, siendo este el peor evento generador de basura espacial de la historia, si no contamos la catástrofe creada por el proyecto West Ford. Pocos días después ya se había formado un anillo de fragmentos que daban la vuelta a todo el planeta, y en pocos meses ocupaban ya toda la esfera alrededor de la Tierra, a todas las alturas posibles de las órbitas bajas, las que son más usadas por los satélites y naves tripuladas. Dada la gran altura a la que se encontraba el satélite en el momento de la desintegración, se estima que los restos seguirán orbitando nuestro planeta durante siglos. Hasta el día de hoy solo han reentrado en nuestra atmósfera unos 600 fragmentos ligeros cuyas órbitas descendieron tras el impacto. Los cálculos indican que para el 2027 se habrán quemado en la atmósfera un 10 % de los restos creados, y para el 2107 la cantidad de basura eliminada llegará al 21 %, con la eliminación total de los restos prevista en los próximos cuatro o cinco siglos. Toda una bonita herencia que vamos dejando para el futuro.

Como respuesta a esta acción poco inteligente por parte de China, llegó otra acción poco inteligente por parte de los Estados Unidos, que no podía ser menos. El 20 de febrero de 2008, el crucero USS Lake Erie de la Marina estadounidense, operando en la llamada **Operación Burnt Frost**, lanzó un misil tipo SM-3 en dirección al satélite militar estadounidense USA-193, que según el Gobierno norteamericano era una «amenaza para la humanidad». El impacto provocado por el misil generó 172 fragmentos rastreables de más de 10 cm y varios miles no detectables. Y se quedaron tan frescos. El satélite USA-193 fue lanzado un par de años antes desde la base de Vandenberg y tras llegar a la órbita terrestre perdió el control, quedando inutilizado pero en una órbita estable a 350 km de altura, ya que el lanzamiento había sido perfecto. La versión oficial para llevar a cabo la destrucción del satélite nos contaba que el USA-193 llevaba un tanque de una sustancia muy tóxica llamada hidracina y que

si caía en nuestro planeta podría provocar daños terribles a las personas o al medioambiente, así que el mismísimo George Bush firmó la orden de su destrucción. Este cuento podría colar en la Edad Media o entre los cromañones, pero en el siglo XXI ese cuento no se lo creyó nadie. El problema de esa mentira es que prácticamente TODOS los satélites llevan tanques de hidracina, que es el combustible que usan para realizar las maniobras con sus toberas (los pequeños motores cohete que llevan los satélites). También es muy habitual que los satélites cuyo lanzamiento o funcionamiento falla, caigan de nuevo a la Tierra y queden desintegrados casi al completo en la atmósfera, debido al rozamiento y a la explosión de la propia hidracina en la reentrada. El motivo real estaba claro: no querían que un satélite militar sofisticado y novedoso pudiera caer en territorio enemigo y que si algunos de sus componentes sobrevivían relativamente intactos a la caída (se estimó que hasta el 50 % del aparato podría llegar a la superficie dadas sus características) pudieran ser analizados o vendidos al mejor postor. Además la operación era una respuesta contundente al lanzamiento realizado por China el año anterior. Las críticas no tardaron en llegar, sobre todo desde Rusia y China (¡ejem!), por el uso de armas en el espacio y argumentaron que numerosos satélites se habían encontrado anteriormente en la misma situación y que jamás se había interesado el Ejército de Estados Unidos de esa manera por las personas y el medioambiente, algo en lo que sí tenían razón. Por suerte la destrucción fue realizada cuando el satélite estaba ya a muy baja altura y todos los restos se desintegraron en pocas semanas tras el impacto. Fue todo un detalle por su parte.

Y como los gallitos en el mundo van aumentando, la India se unió al club de países con acciones poco inteligentes al disparar el 27 de marzo de 2019 un misil antisatélite para destruir el observatorio terrestre MicroSat-R en una órbita a 300 km de altura,

creando más de 400 fragmentos de basura. Aunque las autoridades indias argumentaron que los fragmentos caerían en menos de dos meses, la verdad era que a mediados del año 2021 aún quedaban algunos en la órbita terrestre. No quiero ni imaginar qué pensarán de nosotros las próximas generaciones.

Éramos pocos y llegaron los impactos entre satélites

En 1995 se lanzaba al espacio el pequeño satélite militar francés Cerise de 50 kg, con el objetivo de interceptar y escuchar señales de radio para los servicios de inteligencia del país galo. El 29 de julio de 1996, y mientras Cerise hacía sus cosas de satélite militar, uno de los fragmentos dejados en órbita por la explosión de un cohete europeo Ariane en 1986 impactó a 14,8 km/s contra el mástil de estabilización de 6 metros del satélite y lo fragmentó por la mitad, dejando a Cerise en un giro caótico sin control y por tanto finalizando su misión. Esa fue la primera vez en la historia que un satélite era alcanzado por un objeto de basura espacial catalogado y abría la puerta a un futuro incierto en el espacio.

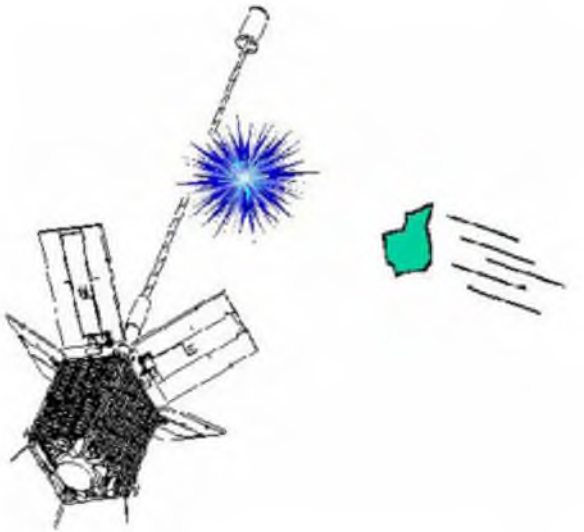
Otra fecha histórica, y mucho más negra, fue el 10 de febrero de 2009, cuando a lo largo del día todos los medios de comunicación del mundo abrieron sus informativos con la noticia de que dos satélites habían chocado en el espacio por primera vez en la historia. El incidente ocurrió sobre la vertical de Siberia a unos 800 km de altura, cuando un satélite ruso de comunicaciones militares llamado Kosmos 2251 (lanzado en 1993, inactivo y con 900 kg de peso) impactó de lleno en ángulo recto a una velocidad de 10 km/s contra el satélite de comunicaciones telefónicas Iridium 33 (lanzado en 1997, en activo y con un peso de 690 kg). El terrible incidente creó una nube de restos formada por más de 2500 fragmentos mayores de 10 centímetros y decenas de miles de un tamaño menor, que permanecerán durante varios siglos en órbita causando problemas para las futuras generaciones de satélites y viajeros espaciales. Lo más llamativo de este caso es que nadie dio la voz de alarma, ni por parte de los militares norteamericanos encargados de la vigilancia, ni por parte de los militares rusos, y por tanto nadie avisó a la compañía Iridium para que procediera a realizar alguna maniobra con su satélite, que estaba aún en

funcionamiento. Si dos satélites ya están fuera de servicio y existe un alto riesgo de colisión entre ellos, no hay nada que se pueda hacer para evitarlo, y tan solo queda esperar y cruzar los 20 dedos esperando que pasen de largo. Sin embargo, cuando al menos uno de ellos está en activo, un aviso a la empresa que opera el satélite podría evitar la catastrófica colisión. Desde entonces los militares estadounidenses encargados de vigilar la basura espacial lanzan avisos si sus simulaciones muestran una posibilidad alta de impacto, de forma que la empresa tenga tiempo para planificar una maniobra y evitar el impacto, ya que es preferible perder algo de combustible (y por tanto tiempo de vida de la nave) antes que perder un satélite por completo.

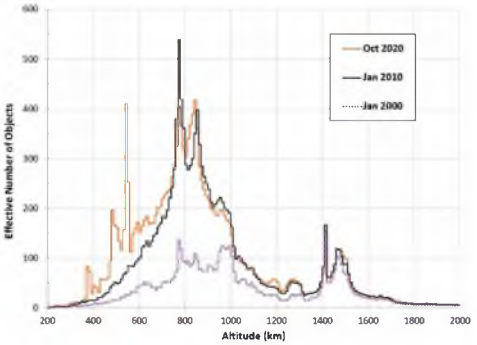
¿Quién vigila la basura espacial?

En plena Guerra Fría los Estados Unidos y la Unión Soviética no paraban de enviar todo tipo de cohetes y satélites al espacio para ser los primeros, para ser los mejores y sobre todo para espiar mejor al enemigo. Dentro de la estrategia para obtener información del enemigo, ambos países desplegaron toda una red de radares y telescopios para descubrir y hacer seguimiento de todos los objetos que el otro país enviaba al espacio y de esta forma conocer sus órbitas, tamaños y posibles objetivos. Desde entonces y hasta el día de hoy estas redes siguen operativas junto con la de China para controlar el tráfico espacial, incluyendo satélites y cualquier otro fragmento que orbite nuestro planeta. Europa, por su parte, tiene algunos dispositivos que permiten realizar un seguimiento puntual, pero no posee infraestructura importante y global para estas tareas. En la actualidad la única red que publica y comparte sus datos a todo el mundo es la de los Estados Unidos, por parte de su programa SpaceTrack de la U.S. Space Surveillance Network y perteneciente al US Space Command y la NASA. Gracias a ellos somos capaces de conocer y localizar de forma muy precisa todos los objetos que tienen un tamaño superior a los 10 cm. Ese tamaño es la actual barrera que tenemos para poder hacer un seguimiento de los objetos que hay en el espacio, debido a las limitaciones técnicas de los radares y los telescopios ópticos que conforman la red de rastreo y seguimiento. Así pues, el peligro que pueden crear estos objetos está relativamente controlado, ya que se suele tratar de etapas enteras de cohetes, de viejos satélites y por supuesto de todos los fragmentos más grandes que se producen en las colisiones y en los incidentes con explosión. Sin embargo, por debajo de ese tamaño no somos capaces de detectar los fragmentos y por tanto no pueden ser catalogados, ni se puede realizar un seguimiento de su órbita y comportamiento. Para ellos tan solo se puede hacer un análisis estadístico con radar, simulaciones

informáticas y estudiar a fondo los pocos objetos que han estado expuestos a impactos en el espacio y que tenemos de vuelta. Así que por debajo de los 10 cm es donde está el verdadero peligro de la basura espacial, puesto que los más de 900 000 fragmentos con dimensiones de entre 1 y 10 cm y los más de 130 millones de un tamaño inferior al centímetro son indetectables hoy día, pero aun así son capaces de causar destrozos dada la alta velocidad a la que se desplazan. Un fragmento de pintura de 3 mm o un trozo de metal de 1 cm pueden parecer poca cosa, pero a 10 km/s son auténticos proyectiles (en realidad son entre 10 y 15 veces más veloces que las balas) que dañarán gravemente o destruirán el objeto contra el que impacten.



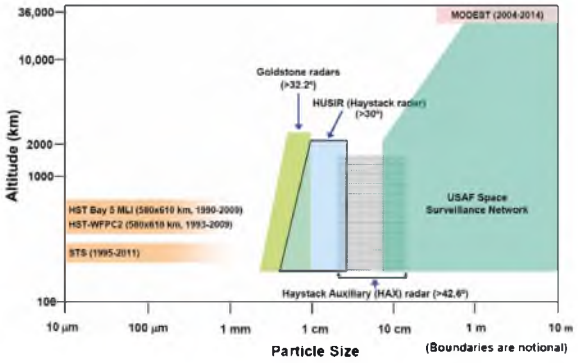
Representación del satélite Cerise y el impacto de un fragmento de basura espacial en todo un alarde de creatividad del dibujante. Imagen: NASA/Johnson Space Center.



¿Dónde están los restos de la colisión entre el Kosmos 2251 y el Iridium 33? Pues en todas partes y en todas las órbitas a una altura entre los 700 y los 1000 km. Este impacto y el ensayo militar chino de 2007 hicieron que se disparara la cantidad de basura entre el año 2000 y el 2010, como se puede ver en la gráfica. En la de 2020 podemos ver cómo también se va sobrepoblando la región entre los 500 y los 800 km. Imagen: NASA.

Pero ¿quién avisa de que se avecina una colisión? Bueno, Europa no tiene capacidad y ni China ni Rusia parecen de momento dispuestas a colaborar y esto es algo que sorprende ya que están comprometiendo la seguridad de sus propios satélites. De momento los Estados Unidos son los únicos que avisan de posibles impactos, debido a la presión de la NASA y en parte también por la gran cantidad de empresas privadas de ese país que tienen sus intereses en órbita. En los años ochenta y noventa los militares norteamericanos solo calculaban las posibilidades de impacto de sus propios satélites, pero el auge de misiones científicas y comerciales a comienzos del siglo XXI les obligó a compartir sus cálculos y mandar avisos a las empresas que tuvieran un satélite en peligro. Y luego serán las propias empresas las que tendrán que decidir si realizan o no la maniobra evasiva, puesto que es un proceso que tiene un coste en combustible, en tiempo y en la interrupción del servicio que están prestando. Dadas las incertidumbres en las posiciones

exactas de un satélite y de los cambios que sufre en su órbita, un aviso de impacto no es algo sencillo de deducir ya que no hay una lucecita roja o verde que se encienda en la pantalla para avisarnos. Las alarmas en este caso vienen dadas por cálculos de probabilidades, en los que influyen muchos factores. Debido a la gran cantidad de avisos de este tipo que muchas compañías recibían, y que no tenían muy claro cómo gestionar, se decidió dejar de enviarlos, y poco después de esta decisión ocurrió la desastrosa colisión entre el Iridium 33 y el Cosmos 2251.



Los objetos de mayor tamaño (>10 cm, zona de la derecha en el gráfico) son controlados por la USAF Space Surveillance Network, los más pequeños (<10 cm, tres zonas centrales del gráfico) son contabilizados estadísticamente por varios radares de la NASA y los más minúsculos (<1 mm, zona de la izquierda) con los datos obtenidos de los paneles solares retornados del Hubble, el experimento LDEF o el Transbordador Espacial. Todo objeto menor de 10 cm que se encuentre en el espacio (más de 130 millones de ellos) es ilocalizable y no sabemos dónde está. Imagen: NASA/ODPO.

Quedaba claro que los procedimientos tenían que ser mejorados y se incluyeron todos los satélites de todo tipo en los nuevos cálculos de alta precisión que realizaba el JSpOC (Joint Space Operations Center), organismo militar encargado de realizar el

seguimiento. Actualmente cualquier operador de satélites de cualquier país recibe un aviso con hasta 72 horas de antelación para que pueda preparar su satélite y realizar una maniobra, siempre que la amenaza se vaya a acercar a menos de 1 km de otro satélite en órbita baja (LEO) o a menos de 5 km en órbita geosincrónica (GEO). Esto puede parecer mucha distancia, pero recordemos que a velocidades de 8 km/s estos acercamientos o impactos dependen a veces de que un satélite pase unas décimas de segundo antes o después que el otro. Como parte de los nuevos procedimientos, el U.S. Strategic Command (STRATCOM) hace públicos todos los datos de los objetos que rastrea, sus parámetros orbitales y avisa a los operadores de satélites. Incluso si mañana tienes un satélite tuyo en el espacio, puedes registrarte en su web (space-track.org), rellenar los datos de las características de tu satélite y sus parámetros orbitales y ellos te avisarán si corre algún peligro para que actúes en consecuencia. Eso sí, si el objeto es uno de los 130 millones que tienen menos de 10 centímetros nadie te podrá avisar y tu satélite acabará igualmente destruido o muy dañado.

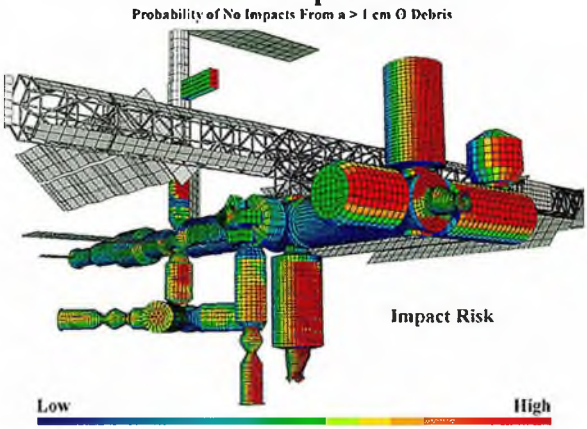
¿Cómo se protege la ISS de la basura espacial?

Los satélites en órbita sufren de manera continua el impacto de pequeños restos de metal y pintura del tamaño de unos pocos milímetros, que son los más numerosos ahí arriba. Estos fragmentos por lo general no suelen provocar demasiados daños, ya que se suelen limitar a agujerear los paneles solares o las estructuras exteriores del satélite, aunque eso tampoco es ninguna broma. Aunque estos fragmentos son diminutos, debemos tener en cuenta que todos los objetos en órbita tienen una velocidad que ronda los 8 km/s y si el impacto es lateral o frontal pueden llegar a colisionar a velocidades de hasta 15 km/s, creando agujeros o incluso penetrando en estructuras reforzadas.

La porción de la basura espacial **más peligrosa** es aquella que se encuentra en el rango de tamaños entre los 1 y 10 centímetros. Estos son ya lo bastante grandes como para causar un daño considerable o la destrucción total, pero a la vez son demasiado pequeños como para que puedan ser localizados y rastreados por las redes de vigilancia. Los satélites espaciales no suelen tener ningún tipo de protección especial contra los impactos, puesto que eso implicaría añadir varias capas de materiales resistentes, por lo que su precio y su peso aumentaría considerablemente. Debido a la permanente presencia humana y al hecho de que debe pasar varias décadas en el espacio, fue necesario diseñar la Estación Espacial como un complejo fuertemente blindado contra los micrometeoritos y la basura espacial. Toda la ISS lleva una protección conocida como «escudo de Whipple», inventada por el astrónomo Fred Lawrence Whipple, que fue el científico que desarrolló en los años cincuenta la teoría de que los cometas son «bolas de nieve sucia» y revolucionó el estudio de estos cuerpos. Ya en los años cuarenta inventó y desarrolló este tipo de escudos, que son mucho más eficientes que un escudo normal. Estos escudos, en lugar de estar formados por una sola capa gruesa de algún metal

como blindaje, poseen varias capas un poco separadas entre sí, con la primera de ellas formada generalmente por una delgada plancha de acero inoxidable y separada por un hueco de una segunda capa.

Cuando un objeto impacta contra la primera pared, seguramente la va a atravesar debido a su poco espesor, pero eso provocará que el objeto se desintegre en múltiples fragmentos. Estos pedacitos se dispersarán en una zona más amplia de la segunda pared, pero impactando con menos energía, por lo que es posible que ya no la atraviesen y en caso contrario se encontrarán con capas adicionales más resistentes. Esta segunda capa suele tener unos 10 cm de grosor y está formada por materiales resistentes como el Kevlar y el Nextel, que se suelen usar como blindaje para los chalecos antibalas. Finalmente, una tercera capa que formará la pared interior de la nave está hecha de aluminio con un grosor entre los 2 y los 5 centímetros, en función de la orientación del módulo de la Estación. Esto se debe a que la probabilidad de impacto no es la misma en todas las paredes, sino que es mayor en aquellas orientadas en la dirección en la que se desplaza la ISS, así como en las que quedan mirando hacia órbitas más altas. Y la probabilidad es menor en las paredes orientadas hacia la Tierra y en las que miran «hacia atrás» respecto al desplazamiento de la Estación. Los módulos rusos, por su parte, suelen tener un relleno formado por polímeros de fibra de carbono reforzada que tienen una altísima resistencia y un bajo peso, pero al igual que los módulos japoneses y europeos no resistirían tan bien un impacto de un objeto mayor de 1 cm.



Mapa de riesgo de impacto en la ISS. En rojo tenemos las zonas más expuestas a impacto y en azul las menos expuestas. El grosor del blindaje varía en función de la orientación de cada sección del módulo. Imagen: Johnson Space Center. NASA.

Con este blindaje, la ISS podría resistir impactos de objetos menores de dos centímetros, pero con objetos indetectables entre los tres y los diez centímetros no habría mucho que hacer. En ocasiones, los sistemas de vigilancia orbital detectan que un fragmento de un satélite o algún objeto tiene una órbita que en pocos días acabará intersecando la órbita de la Estación Espacial, por lo que se calcula la probabilidad de impacto. Si la probabilidad es mayor que 1 entre 10 000 (0,01 %), se pone en marcha un mecanismo de acción que varía dependiendo del tiempo disponible hasta el posible impacto. Mover la ISS con toda su enorme masa de 420 toneladas es algo complejo, costoso y que lleva su tiempo, por lo que si se avisa con suficiente antelación se puede realizar una maniobra de escape conocida como «DAM» o «Debris Avoidance Maneuver». En esa maniobra, alguna de las naves de carga rusa Progress enciende sus motores durante dos o tres minutos para aumentar la velocidad de la ISS en aproximadamente 1 m/s, con lo que se consigue subir la órbita entre dos y cinco

kilómetros, siendo esta la maniobra óptima y más frecuente. Existe también la posibilidad de bajar la altura de la Estación, pero es un proceso más complejo y derrochador. En estos casos hay que gastar tiempo y combustible para girar la ISS, poner a la nave de carga en sentido contrario al de movimiento para frenar el complejo y posteriormente hay que gastar más combustible para volver a elevar la órbita de la Estación. Con la maniobra habitual la ISS queda en una órbita un poco más alta y posteriormente «ya bajará» por sí sola con el rozamiento atmosférico.

Hasta mediados de 2021 han sido necesarias un total de 28 de estas maniobras para poner a salvo el complejo de la basura espacial. En 2020 la ISS tuvo que realizar tres maniobras (el 19 de abril, el 3 de julio y el 22 de septiembre) relacionadas con fragmentos del satélite chino Fengyun-1C y otros restos de satélites y cohetes rusos y japoneses. Si se comprobara que la Estación no tiene tiempo de maniobras, toda la tripulación se pondrá sus trajes, cerrará todas las escotillas posibles y se dirigirá a las cápsulas Soyuz a la espera de una posible evacuación de emergencia que podría realizarse en menos de 3 minutos. Esta situación, que puede parecer más «peliculera», ha tenido que realizarse en cuatro ocasiones: en marzo de 2009, junio de 2011, marzo de 2012, julio de 2015 y parcialmente en septiembre de 2020 cuando tan solo les dio tiempo a cerrar las esclusas entre la parte americana y la rusa de la Estación. Y el 23 de abril de 2021, la cápsula Dragon con la tripulación Crew-2 que iba rumbo a la ISS fue avisada justo cuando se iban a dormir de que en 20 minutos un fragmento de basura espacial pasaría muy cerca de la nave. Por tanto tuvieron que ponerse los trajes y amarrarse a los sillones hasta que la amenaza fuera descartada, algo que por suerte pudo confirmarse minutos después.

ɔ en 2016 por el astronauta Tim
a n.º 2 del mirador Cupola de la
, causado por un fragmento de
de una décima de milímetro de
ınas son de varias capas y bien
lgo un poco más grande podría
problemas. Imagen: NASA.

¿Qué se hace pa

En los locos años
espacial, nadie s
consecuencias de s
cohetes y satélites
rápido posible para
tecnología y espiona
todo valía. En 1979 a
NASA alertando de
espacial, y en los a
estudios para conoc
cómo evitar en lo po
espacial. En los año
en todo el mundo s
2001 se implement
por la NASA de form
idea es que todos
cumplan la llam
Mitigation Standard
prácticas para evit
nueva basura espa
obligatorio y las em
forma voluntaria fi
Otras potencias espa
y Japón también ti
mitigación con las
hora de enviar cual
momento son eso,
internacional no se c
parte del sector par
cuando no va en co
En 1993 se creó
Coordination Com
internacional que cu
agencias espaciales
que intenta mejorar
de información ent
posee un comité so
Nations Committee
Space (COPUOS) con

¿Qué se hace para mitigar la basura espacial?

En los locos años sesenta y setenta de la carrera espacial, nadie se paraba a pensar en las consecuencias de sus actos. Enormes cantidades de cohetes y satélites se lanzaban al espacio lo más rápido posible para ganar al adversario en ciencia, tecnología y espionaje militar. Era una época en la que todo valía. En 1979 aparece ya el primer estudio de la NASA alertando de la situación respecto a la basura espacial, y en los años ochenta se realizan nuevos estudios para conocer mejor la situación y sobre todo cómo evitar en lo posible la creación de nueva basura espacial. En los años noventa aumenta la conciencia en todo el mundo sobre este problema, y a partir de 2001 se implementa una nueva estrategia diseñada por la NASA de forma oficial en los Estados Unidos. La idea es que todos los cohetes y satélites nuevos cumplan la llamada «ODMSP» (Orbital Debris Mitigation Standard Practices), un catálogo de buenas prácticas para evitar en lo posible la creación de nueva basura espacial. El problema es que no es obligatorio y las empresas lo pueden llevar a cabo de forma voluntaria firmando un acuerdo de adhesión. Otras potencias espaciales como Europa, Rusia, China y Japón también tienen sus propias estrategias de mitigación con las pautas y recomendaciones a la hora de enviar cualquier cosa al espacio. Porque de momento son eso, recomendaciones que a nivel internacional no se obligan a cumplir, pero que buena parte del sector parece estar cumpliendo. O al menos cuando no va en contra de sus intereses y proyectos. En 1993 se creó la Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC), un comité internacional que cuenta con la presencia de todas las agencias espaciales importantes de todo el mundo, que intenta mejorar la coordinación y el intercambio de información entre ellas. La propia ONU también posee un comité sobre basura espacial en el United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) con más recomendaciones a todos los

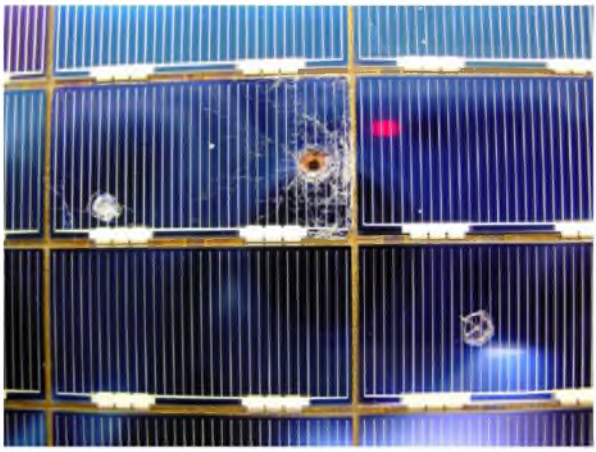
países para concienciar sobre el grave problema que se avecina. Todos esos acuerdos y recomendaciones están muy bien, pero en 2021 tenemos un montón de siglas de organismos implicados y preocupados, con sugerencias y recomendaciones, pero todavía no hay vigente ninguna legislación internacional para abordar este asunto de forma seria y tajante.

La principal recomendación de la ODMSP es conocida como la de los «25 años», en la que se dice que los fragmentos producidos por las etapas superiores y por los satélites deberían permanecer un máximo de 25 años en el espacio antes de desintegrarse en la atmósfera. También se indica que todos los componentes deben ser diseñados para que la probabilidad de que algún sistema explote en la nave sea menor que 1 entre 1000 (0,1 %) durante su misión. Y que una vez acabada su misión, el cohete o satélite debe ser desactivado: las baterías deben ser puestas en modo seguro o desconectadas y los tanques de combustible y de gases a presión tienen que ser vaciados lo antes posible para evitar futuras explosiones. El problema es que la mayoría de los satélites que llevan más de 10 años en órbita no están diseñados para hacerlo. También indica que se vigilará a los objetos en órbita, pero que estos deben estar en el espacio 100 años como máximo. Y que una vez que un satélite finalice su misión se recomienda gastar sus últimas gotas de combustible en trasladarlo a una órbita cementerio, a la atmósfera o hacia una órbita heliocéntrica alrededor del Sol. En caso de quedarse en órbita terrestre, debería hacer su reentrada en menos de 25 años una vez finalizada su misión. Y los satélites de órbitas altas y geoestacionarios (los cuales no es posible desorbitarlos dada su gran altura) deben ser movidos a una órbita cementerio que no se acerque a las órbitas bajas en al menos un siglo. Todo eso implica que deben mantener una reserva de combustible para estas maniobras, lo que lleva a una reducción en su vida útil. Todas estas recomendaciones van por el

buen camino, pero son claramente insuficientes y demasiado permisivas.

¿Esperaremos al síndrome de Kessler? El fin del acceso al espacio

Si has visto la película *Gravity* de Alfonso Cuarón, protagonizada en 2013 por Sandra Bullock y George Clooney, ya sabes de lo que estoy hablando. Todos nos agarramos al sillón en ese espectacular momento que pone los pelos de punta, cuando (¡ojo, *spoiler*!) los restos de basura espacial producidos por la destrucción de un satélite ruso comienzan a chocar contra el Transbordador Espacial Explorer y el telescopio Hubble, dejando a los astronautas perdidos en el espacio y sin poder volver a la Tierra. Ese efecto cascada, en el cual un objeto destruido crea miles de fragmentos que alcanzan a unos cuantos satélites, que son también destruidos, y prosigue la bola de nieve sin fin con una escalada de destrozos sin parar es lo que se conoce como síndrome de Kessler.



Tres impactos reales de basura espacial en uno de los paneles solares recuperados del telescopio Hubble, durante una misión del Transbordador Espacial en 2002. Imagen: ESA.

En 1978 el astrofísico Donald J. Kessler, de la NASA, propuso este escenario teórico en el que la densidad de objetos y de basura espacial llegaba a un punto de desbordamiento tan grande que las colisiones se

aceleran sin parar. De esta forma se van creando nubes de restos que acaban con todo lo que van encontrando y finaliza con la destrucción de todo lo que se encuentre en órbita. Vale que *Gravity* es una película que puede exagerar y que el síndrome es una teoría, pero ¿es descartable una situación así? Definitivamente no, es algo a lo cual vamos encaminados y que de llegar a producirse provocaría una crisis mundial, tanto por la pérdida de todos los negocios espaciales (telecomunicaciones, meteorología, ciencia, defensa...) como por dejar a la humanidad sin acceso al espacio durante cientos de años. ¿Dónde está el límite o cuándo ocurrirá este efecto dominó? ¿En 20 años o 200 años? ¿Inutilizará todas las órbitas? ¿Impedirá nuevos lanzamientos? Pues no lo sabemos, pero es una realidad que no puede ser ignorada, al igual que hemos hecho con el cambio climático o la contaminación de los mares, que durante décadas no se le ha prestado importancia y luego ya es demasiado tarde. Probablemente no ocurrirá como en las películas, en cuestión de horas, sino que puede ser un proceso que vaya escalando a lo largo de varios años, pero todo indica que al ritmo que vamos ocurrirá, así que toca tomarse en serio el problema.

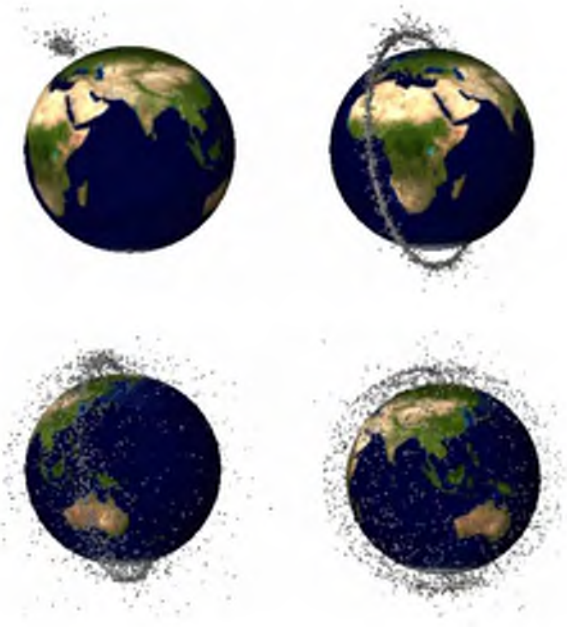
Después de la fiesta toca limpiar

¿Hay algún sistema en funcionamiento para limpiar la basura espacial? No. ¿Algún método que sea efectivo para...? No. ¿Y en los próximos años? No. No hay en la actualidad nada para limpiar la basura espacial que ya se haya puesto en práctica o que sea efectivo. Nada. Tan solo tenemos a la generosa atmósfera de nuestro planeta que se encarga de ir frenando los fragmentos y los satélites para dejarlos hechos un plasma ardiente a 100 km de altura. Y nuestro Sol, que cada 11 años aumenta su actividad y eso hace que haya más flujo solar, que nuestra atmósfera se expanda y llegue a una mayor altura, lo que provoca una aceleración apreciable en la caída de los restos a la atmósfera. Pero de momento los humanos miramos, seguimos poniendo cosas en órbita y pensamos en usar arpones, redes, imanes, rayos láser o brazos robóticos. Toda una lista de ideas que son estupendas, pero que de momento son irrealizables, caras o que podrían provocar más problemas de los que solucionan. Aquí no es que estemos en pañales, es que todavía ni hemos nacido.

El primer nacimiento en este nuevo mundo futuro de barrenderos espaciales vendrá seguramente a partir del año 2025 de mano de la ESA y su programa Space Safety. Este programa buscará de forma activa la eliminación de basura espacial y ensayará nuevas tecnologías. La primera misión ya ha sido encargada a la empresa suiza ClearSpace, que ahora mismo está desarrollando el proyecto bajo el poco sorprendente nombre de ClearSpace-1. Una de las formas de reducir la basura es ir a las órbitas donde más se acumula para eliminarla, quitando de en medio satélites o estructuras que puedan crear nuevos fragmentos. El objetivo de la misión será un adaptador cónico de 100 kg llamado Vespa (Vega Secondary Payload Adapter) que se quedó en una órbita de 800 x 660 km tras separarse de la etapa superior del cohete europeo Vega en un lanzamiento de 2013. Se trata de un primer objetivo pequeño y sencillo que servirá para

comprobar si las tecnologías desarrolladas de acoplamientos automáticos y brazos robóticos funcionan correctamente. Una vez atrapado el satélite ClearSpace-1 encenderá sus motores para que ambos sean destruidos en la atmósfera.

Como ensayo me parece bien, pero si vamos a tener que lanzar un satélite para cada uno de los fragmentos en órbita, no sé si sale rentable teniendo en cuenta que el propio lanzamiento de ClearSpace-1 dejará nuevos objetos en órbita. Lo seguiremos de cerca junto con otras numerosas iniciativas que están ensayando nuevas ideas, como la japonesa Astroscale, que en marzo de 2021 lanzó el satélite llamado Elsa-D (End-of-Life Service by Astroscale Demonstration). Este satélite, una vez en órbita, se separó en dos naves: el «servidor» de 175 kg y el «cliente» de 17 kg, para ensayar acoplamientos magnéticos en órbita de forma autónoma en distintas condiciones de estabilidad y giro.



Evolución de los restos producidos por la destrucción del satélite chino FY-1C mostrando la nube de basura

mayor de 10 cm a los 10 minutos, a los 10 días, a los 6 meses y 3 años después, en el peor evento de producción de basura espacial de la historia. Imagen: NASA.

El caso es que llevamos más de 60 años enviando cosas al espacio como si no hubiera un mañana, como si siempre hubiera un espacio infinito que se lo tragara todo y estamos preparando el escenario para la tormenta perfecta. Tal vez no será como en las películas, con avalanchas de trozos de basura reventando naves como un tsunami, pero sí que será un aumento continuo y acelerado de muy difícil solución. Tras el accidente Iridium-Cosmos de 2009 el mundo se asustó, pero como siempre nos pasa miramos a otro lado y seguimos haciendo las cosas igual o peor. Si hoy mismo se dejaran de lanzar cohetes para siempre, la basura espacial seguiría una escalada muy peligrosa. Pero la realidad es que con lanzamientos cada vez más baratos, con numerosos países y empresas lanzando y accediendo al espacio y con la llegada de las megaconstelaciones de satélites, el futuro pinta como mínimo regular. Las matemáticas son fáciles: todo irá a peor mientras se lancen más objetos de los que entran en la atmósfera. La democratización del espacio es buena, pero las reglas deben ser para todos y más duras, si no nos quedaremos sin patio trasero donde jugar. No me quiero ni imaginar la crisis que tendríamos si de pronto todo el acceso al espacio se perdiera por ser demasiado peligroso, con un mundo sin predicciones meteorológicas, sin avisos de huracanes, comunicaciones por satélite, navegación GPS, investigación científica y una inacabable lista de servicios que dependen de satélites. Se hace difícil imaginar nuestro mundo sin ellos. En la comunidad científica hay un consenso claro: estamos llegando a un punto de inflexión y hay que hacer algo, ya. Las ideas surgen, pero son muy incompletas e insuficientes y las agencias espaciales se lo toman en serio, pero apenas invierten en medios para

solucionarlo. De momento no hay nadie a los mandos.

El satélite ClearSpace-1 atrapa el adaptador Vespa en órbita. Imagen: ESA / ClearSpace.

Capítulo 6

Yvonne Brill, la mujer que revolucionó el espacio

Si tienes afición a este mundillo espacial te sonará la hidracina. Este compuesto químico es usado en casi todos los satélites actuales como sistema de mantenimiento orbital. Eso quiere decir que se usa para poder mantener al satélite en la posición y orientación deseada, con pequeñas correcciones e incluso para modificar su órbita si fuera necesario. Hasta comienzos de los años ochenta los satélites tenían sistemas muy caros, complejos y pesados para poder mantenerse en órbita, pero la llegada de las toberas (los pequeños motores que rodean un satélite) con hidracina fue una completa revolución en su momento y se ha convertido desde entonces en un estándar de la industria espacial, que hoy no sería la misma sin su uso.

Toda esta revolución se la debemos a una desconocida mujer, la canadiense Yvonne Brill, cuya vida y logros deben servir de ejemplo e inspiración para las futuras generaciones. Yvonne Claeys (nombre de nacimiento) vino a este mundo el 30 de diciembre de 1924 en Winnipeg, en la región de Manitoba, en Canadá. De niña leía con pasión las historias y aventuras de Amelia Earhart, que fue la primera mujer en pilotar un avión sobre el océano Atlántico, y siempre declaró que había sido una gran inspiración para ella. Yvonne fue la primera mujer de su familia en ir al colegio y en el instituto su profesor de Ciencias le llegó a decir que una mujer nunca conseguiría nada en ciencias. Su padre le comenzó a preparar una pequeña tienda en la ciudad para que se encargara de ella, pero Yvonne decidió ignorar los planes machistas que habían preparado para ella y de una supuesta vida cómoda y organizada. En 1942, al cumplir los 18 años de edad, decidió matricularse en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Manitoba, pero su solicitud fue denegada. ¿La excusa? Que el campamento de verano al que debían acudir obligatoriamente todos los estudiantes no estaba preparado para acoger mujeres, y fue el propio

decano el que se negó en varias ocasiones a adaptar las instalaciones para ella.

Pero Yvonne no se rindió, que nadie lo dude. Ese mismo día se dirigió a la Facultad de Matemáticas, donde sí fue admitida (la Ingeniería era «cosa de hombres», le repetían). En 1945, a sus 21 años, obtuvo su graduación con la mejor nota de su promoción, dejando en evidencia a su padre y a sus profesores de instituto. Nada más finalizar la carrera fue contratada por la empresa Douglas Aircraft en Los Ángeles, realizando trabajos teóricos sobre trayectorias de satélites. Tengamos en cuenta que todavía no existían y que era un mundo que aún estaba por inventar, diseñar, construir y lanzar. Su inquietud la llevó a matricularse en la Universidad del Sur de California para sacarse la maestría de Química y ¿alguien duda que lo consiguió? Como el trabajo teórico no le llenaba, en 1948 la contrataron en la emergente empresa Marquardt Corporation, donde tendría funciones más prácticas y donde podría demostrar sus conocimientos en química. En pocos meses logró mejorar enormemente el combustible que se usa en los motores tipo «ramjet» o «estratorreactor» para el vuelo de misiles y cohetes. En 1951 se casó con el químico William Brill y se mudaron a Princeton, en la costa este, donde trabajó en varias empresas y fundamentalmente en RAND Corporation, investigando con nuevas mezclas de combustibles para cohetes.

En 1958 se quedó embarazada, y en un intento de compaginar su vida familiar y profesional dejó su trabajo en RAND para dedicarse a criar a sus tres hijos, y mientras tanto trabajaba como consultora a tiempo parcial. No fue hasta 1966 cuando quiso retomar su profesión y la contrataron a tiempo completo en la empresa RCA Astro-Electronics, donde su trabajo hizo historia, ya que tras varios años de investigación, terminó el desarrollo del llamado «EHT» o «propulsor de hidracina electrotérmica», que fue patentado en 1972. Simplificando las cosas, su invento

consistía en sustituir los complejos y pesados sistemas de maniobras orbitales que llevaban los satélites (consistentes en varios tanques de combustibles, oxidantes y grandes motores) por algo más sencillo y barato. El EHT era un único depósito con hidracina, que se repartía en tuberías por el satélite hasta llegar a las pequeñas toberas por las que era expulsado. La hidracina se calentaba, y al entrar en contacto con un catalizador se provocaba una reacción química que generaba gases, los cuales eran dirigidos hacia las toberas, impulsando de esta forma al satélite en la dirección deseada. Su gran eficiencia permitió que el sistema de maniobras orbitales fuera mucho más pequeño, ligero y simple, con el consiguiente ahorro en su construcción y alargando muchos años la vida útil de los satélites. Casi nada. Años después declaró en una entrevista: «El trabajo en RCA fue divertido y verdaderamente refleja que la vida comienza a los 40». En 1983 se lanzó el primer satélite de RAND con este sistema y dado su gran éxito fue rápidamente adoptado por toda la industria espacial, permaneciendo como el principal sistema de propulsión y maniobras hasta nuestros días.

Para continuar su carrera se fue nada menos que a la NASA, donde se encargaba de supervisar los cohetes sólidos del Transbordador Espacial, de la propulsión en la misión Mars Observer. Además era parte del Panel Asesor de Seguridad Aeroespacial, siendo toda una eminencia en la industria, la misma que unas décadas antes no quiso saber nada de ella. Tras dejar la NASA trabajó en Inmarsat y se retiró en 1991 como consejera independiente para empresas y agencias espaciales. En la parte final de su vida recibió numerosos reconocimientos, incluyendo el de la Academia Nacional de Ingeniería (NAE), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (el famoso IEEE) y por supuesto de la Sociedad de Mujeres Ingenieras (SWE). Entre los premios recibidos se encuentran la Medalla de Servicio Público Distinguido de la NASA en 1999, el Salón de la Fama de Inventores Nacionales en

2010, la Medalla John Fritz de ingeniería y la Medalla Nacional de Tecnología e Innovación que le entregó Obama en 2011.

Yvonne Brill en las instalaciones del JPL de la NASA. Imagen: NASA.

Dedicó prácticamente toda su vida a luchar contra la discriminación por cuestiones de género, debido a que la sufrió frecuentemente, sobre todo al principio de su carrera. En cada ocasión que tenía ejercía de mentora y escribía cartas de recomendación para mujeres con talento, y su espíritu decidido fue inspiración para muchas mujeres que han seguido y siguen su camino. Yvonne Brill falleció el 27 de marzo de 2013 en Nueva Jersey y desde entonces una cátedra de la Academia Nacional de Ingeniería lleva su nombre. No hay mucho más que decir, ya que su vida habla por sí sola. El rechazo inicial a sus proyectos por parte de su padre, sus profesores y la universidad solo le dieron más fuerzas para estudiar y trabajar en lo que más le gustaba. Nunca le importó lo que pudieran pensar sobre ella, logrando con su ingenio y madurez un avance tecnológico que la todopoderosa industria militar y aeroespacial no habían conseguido en

décadas. ¡Gracias, Yvonne!

Entierros espaciales, el auténtico descanso eterno

Si estamos ya en ese punto, en el que tras superar el 2020 y el 2021 ya no nos sorprende nada, tampoco alucinarás mucho cuando sepas que ya hay personas enterradas en el espacio. Bueno, tal vez la palabra «enterradas» no sea la más correcta, digamos que se han enviado sus cenizas al espacio, tanto por ahorro de peso como por higiene. Aclaremos que estas cenizas no son dispersadas en el espacio (se convertirían en fragmentos de basura espacial), sino que se mantienen dentro de cápsulas especiales que estarán selladas hasta que ardan en la atmósfera o descansen eternamente por el vacío. Y sigamos aclarando que tampoco se mandan la totalidad de las cenizas de una persona (serían entre 2 y 3 kg), sino tan solo una pequeña muestra (entre 1 y 7 gr), lo que hace el proceso más económico. Como todo en este mundo, tenemos distintas posibilidades a nuestro alcance: desde vuelos parabólicos que llevan las cápsulas al espacio unos instantes y luego son recuperadas hasta vuelos orbitales que dejarán las cápsulas varios años para luego reentrar en la atmósfera y quemarse (nuevamente). Aunque también hay otros más privilegiados, cuyos restos descansan eternamente en la Luna, y los más enchufados, que directamente viajarán hasta el infinito en sondas espaciales.

Las primeras cenizas en el espacio fueron las del mítico Gene Roddenberry, creador de la famosa saga de *Star Trek*, cuyas cenizas volaron hasta el espacio en 1992. Su viaje se realizó en la misión STS-52 del Transbordador Columbia, donde tuvo lugar una ceremonia y se devolvieron más tarde a su familia. El primer vuelo privado para realizar un «entierro» espacial fue en la misión Earthview 01 de la empresa Celestis. Este satélite iba como carga secundaria en un cohete Pegasus XL, que fue lanzado el 21 de abril de 1997 desde la Base Aérea de Gando, en Gran Canaria, con el objetivo principal de poner en órbita al satélite español Minisat 01. Por cierto, el primer y único lanzamiento de un cohete al espacio realizado desde

territorio español. El Earthview 01 llevó las cenizas de 24 personas hasta una órbita de 578 x 551 km, donde permanecieron hasta su reentrada en mayo de 2002 y entre las que se encontraban las del psicólogo Timothy Leary y de nuevo las del escritor Gene Roddenberry, que parece que le cogió el gustillo a volar. El actor James Doohan, que en *Star Trek* interpreta a Scotty, también ha tenido varios entierros ya que sus cenizas estuvieron 4 minutos en el espacio durante un vuelo suborbital en 2007 y al año siguiente despegaron en un fallido cohete Falcon 1. Ese mismo año, el empresario de videojuegos Richard Garriot subió como turista a la Estación Espacial Internacional y se llevó otra pequeña muestra de sus cenizas, que fueron escondidas de forma secreta en un panel del módulo europeo Columbus. Este acto no fue hecho público hasta la Navidad de 2020, cuando el hijo de Doohan lo reconoció públicamente para sorpresa de los responsables de la Estación Espacial, que no sabían nada del tema.

Todo el elenco principal de *Star Trek* acude al Dryden Flight Research Center en 1976 para la presentación de la nave Enterprise, el primer prototipo del Transbordador Espacial y con el mismo nombre que la nave principal de la serie. El segundo por la derecha es Gene Roddenberry, creador de la mítica saga.

Imagen: NASA.

La veterana empresa Celestis y una nueva en el mercado llamada Elysium Space son las que actualmente promueven este tipo de ceremonias orbitales y suborbitales. Hasta la fecha se han llevado a cabo 14 vuelos con los restos de más de 1000 personas, aunque cuatro de los lanzamientos acabaron explotando durante el vuelo y esparciendo su carga en el océano. Ambas empresas siguen preparando vuelos en el futuro y Celestis ha ampliado su mercado, ya que admite también cenizas de mascotas en sus misiones. Uno de los «entierros» más privilegiados hasta la fecha fue el del científico Eugene Shoemaker, cuyas cenizas fueron llevadas a la Luna por la sonda Lunar Prospector. El otro fue el astrónomo Clyde Tombaugh, cuyos restos viajan en la sonda New Horizons y que tras sobrevolar Plutón (que descubrió cien años antes) se dirigen rumbo al espacio interestelar. Y de ambos hablaremos un poco más adelante. Como dijo mi paisano cordobés Séneca: «*Ad astra, per aspera*», que viene a decir algo así como «A las estrellas, a través de las dificultades».

Del foro de sondasespaciales.com al espacio

Una de las mayores satisfacciones que me ha dado crear una web de divulgación astronáutica ha sido el hecho de conocer a personas fantásticas y con un increíble talento. Con el paso del tiempo muchas de esas personas se convierten en tus amigos y por el camino has sido testigo de cómo un *hobby* se ha convertido en una profesión, con muchos de ellos trabajando en empresas del sector espacial, o siendo reconocidos a nivel mundial por sus trabajos.

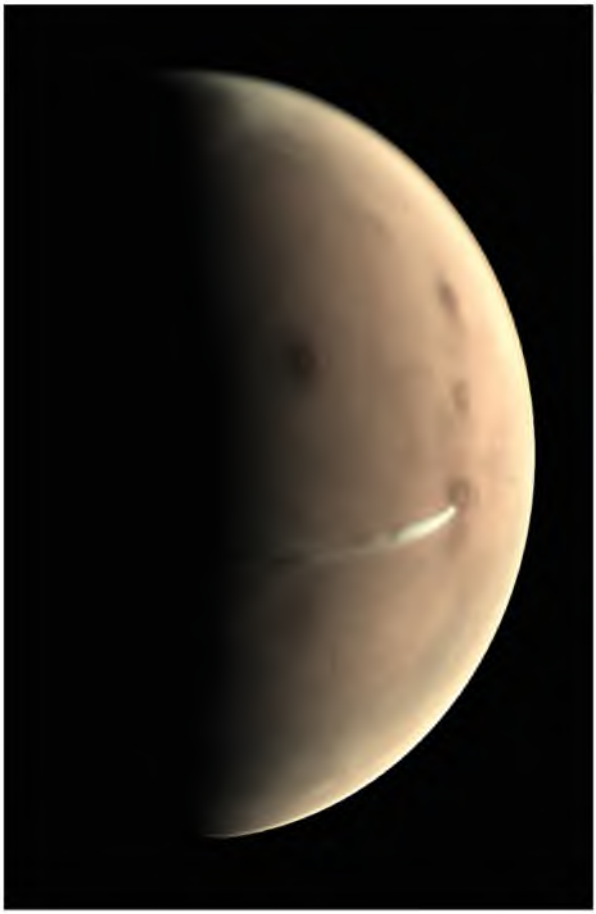
Uno de ellos es Jacint Roger, un catalán aficionado a la astronáutica y que en los últimos años ha saltado a la fama mundial dentro del mundillo espacial por sus animaciones (gifs), realizadas con las imágenes procedentes de muchas de las sondas que exploran el sistema solar. Con una infinita paciencia, espera la descarga de los paquetes de datos e imágenes desde las sondas y de la publicación de esas imágenes en bruto en los servidores de las agencias espaciales.

Las nieves de Churyumov-Gerasimenko, una impresionante imagen de un acantilado en el cometa 67/P con los trazos de las partículas de hielo y polvo,

las estrellas y los rayos cósmicos que atraviesan el campo de visión. La increíble animación realizada por Jacint Roger fue la Imagen del Día APOD el 26 de abril de 2018 y apareció en infinidad de medios internacionales, programas de televisión y documentales. Esta imagen es solo un fotograma de la escena completa. Imagen: ESA, Rosetta, MPS, OSIRIS; UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA - Jacint Roger Pérez.

Una vez disponibles las descarga, las procesa y con ellas crea auténticas maravillas, que son seguidas por miles de personas en Twitter (@landru79) y difundidas en todas las páginas webs de información espacial, en programas de televisión e incluso en documentales. El 26 de abril de 2018 (y nuevamente el 15 de marzo de 2020), logró una APOD o Astronomy Picture of the Day, un reconocimiento de la NASA a las mejores imágenes espaciales de todo el mundo. Esta animación premiada fue realizada con fotografías de la sonda europea Rosetta, mientras sobrevolaba el cometa 67P Churyumov-Gerasimenko a muy corta distancia, mostrando un acantilado y la presencia de estrellas, rayos cósmicos y nieve cometaria por todas partes. Esta animación provocó el asombro de toda la comunidad mundial de aficionados al espacio, de los profesionales e incluso de los miembros de las agencias espaciales y la propia misión Rosetta.

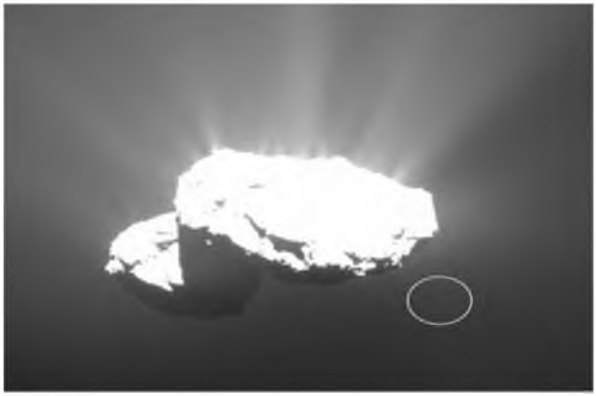
Esta otra imagen muestra varias colinas y montañas en el cometa 67/P, el 22 de septiembre de 2014, mientras la sonda Rosetta estaba a solo 28 km de distancia. La imagen fue procesada por Jacint Roger y nos muestra cómo el Sol incide desde la izquierda y cómo la parte derecha de las montañas brillan en la oscuridad, gracias al reflejo de un acantilado que queda fuera de la imagen por la parte derecha.
Imagen: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA; J. Roger.



Esta extraña formación nubosa aparece todas las primaveras marcianas en el Monte Arsia, se extiende cientos de kilómetros y se disipa en cuestión de horas. Imagen: ESA/GCP/UPV/EHU Bilbao.

Su constancia, buen trabajo y buen ojo dieron sus frutos cuando a comienzos de 2019, y tras analizar cientos de fotografías de Rosetta del año 2015, observó un pequeño punto en una de ellas, posiblemente una estrella o un planeta en el fondo de la imagen. Sin embargo, tras estudiar detalladamente las imágenes anteriores y posteriores, pudo comprobar cómo el punto trazaba una trayectoria circular alrededor del cometa. Esto ya no parecía una estrella de fondo, sino

que podía ser un pequeño fragmento de 67P Churyumov-Gerasimenko que tras ser expulsado por algún estallido de gases había quedado orbitando el cometa a corta distancia. Tras mostrarlo en nuestro grupo de Telegram, lo publicó en Twitter y la propia Agencia Espacial Europea se interesó por las imágenes. Tras meses de estudio y análisis se confirmó que efectivamente estábamos viendo una pequeña luna temporal del cometa, bautizada informalmente como la Churymoon o Churyluna. Este pequeño objeto tenía unos cuatro metros de diámetro y orbitaba el cometa cada 12 horas, a una distancia de unos 3 kilómetros. Todo el fascinante trabajo de Jacint puedes seguirlo a través de su cuenta @landru79 en la red social Twitter.



Una de las imágenes del descubrimiento de una pequeña luna alrededor del cometa 67P, gracias al ojo observador de Jacint Roger. Imagen: ESA/Rosetta/MPS/OSIRIS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA/J. Roger (CC BY-SA 4.0).

Otro sondero ilustre es Jorge Hernández. Este joven salmantino comenzó a participar en el foro y a colaborar en las noticias cuando aún estaba en el instituto, y siempre ha demostrado una enorme pasión por el espacio. Tanto es así que obtuvo el grado de Física en la Universidad de Salamanca y es el presidente de la Asociación Universitaria Supernova.

Tras obtener su Máster en Ciencia y Tecnología Espacial de la Universidad del País Vasco, trabaja en el Grupo de Ciencias Planetarias de la UPV, como parte del equipo científico de la cámara VMC de la sonda Mars Express de la Agencia Espacial Europea (ESA). Su doctorado trata sobre el clima en Marte, ha publicado varios artículos científicos y en marzo de 2021 publicó un amplio estudio sobre unas curiosas formaciones nubosas en Marte, cuyos resultados salieron en prensa y televisión. Personalmente me ha parecido increíble seguir a un joven aficionado que encaminó sus estudios a lo que más le apasionaba y que en poco tiempo ya trabaja en una misión espacial investigando el planeta rojo. Pocos secretos dejará Marte cuando Jorge termine de estudiarlo.

La cámara iSIM en el brazo robótico de la ISS antes de ser instalada en el exterior del módulo japonés Kibo para observar nuestro planeta y obtener miles de fotografías de alta resolución. Imagen: NASA.

Y también tenemos a Aitor Conde, un bilbaíno que fue una de las primeras personas que conocí personalmente gracias a la web. Este brillante ingeniero de telecomunicaciones ha trabajado en el diseño y construcción de varios microsatélites y actualmente es director de Tecnología en la empresa Satlantis, donde ha participado en la cámara con teleobjetivos de alta resolución iSIM-170 (Integrated

Standard Imager for Microsatellites). Esta cámara de tan solo 15 kg de peso fue lanzada por un cohete japonés H-IIB el 20 de mayo de 2020 dentro de la nave de carga HTV-9 hacia la Estación Espacial Internacional y se acopló en el exterior del módulo japonés Kibo para observar nuestro planeta y captar miles de fotografías de alta resolución.

La cámara iSIM-170 de Satlantis. Imagen: cortesía de Satlantis.

Acrónimos, forzando los nombres más allá del bien y del mal

La ciencia y el maravilloso mundo de los acrónimos, esa extraña e inseparable pareja que asola los *papers*, informes y páginas web de todo el mundo. Recordemos que un acrónimo es una palabra formada con las letras iniciales de otras palabras, o con las letras que les dé la gana a los miembros del equipo de la misión o el instrumento en cuestión. Porque hay misiones e instrumentos cuyos nombres son «palabras normales» como Voyager, Cassini, Galileo o Mars Express, basados en nombres de personajes históricos o palabras importantes para la misión. Pero sobre todo en el caso de muchos proyectos, instrumentos científicos y misiones en astronomía y astronáutica, el circo de acrónimos es total y en muchas ocasiones hasta disparatado, con todos los límites sobrepasados a la hora de retorcer los nombres. La norma de recurrir a la primera letra de cada palabra es completamente ignorada y en muchos caso se coge la que interese o nos las inventamos directamente, que para eso somos los que diseñamos el instrumento y lo bautizamos como nos da la gana. ¿O acaso Elon Musk no bautizó a su hijo con el precioso nombre de X Æ A-12? Pues nadie le puede quitar a un científico la ilusión de ponerle un rebuscado nombre a su instrumento, como si perteneciera a una película de los Monty Python.

Los observatorios o programas más serios tienen nombres sosos, como JWST (James Webb Space Telescope) o LSST (Large Synoptic Survey Telescope), sosos pero completamente formales y esperables. Pero si recorremos lo que hace la fauna investigadora del universo, encontramos algunas joyas como:

- ABRACADABRA: A Broadband/Resonant Approach to Cosmic Axion Detection with an Amplifying B-field Ring Apparatus. Raro pero currado.
- ALFALFA: Arecibo Legacy Fast ALFA. Con este

combo se pueden ir a pastar, porque ALFA a su vez es «Arecibo L-band Feed Array».

- ALHAMBRA: Advanced Large, Homogeneous Area Medium Band Redshift Astronomical survey. Sin comentarios.
- ANCHORS: AN archive of CHandra Observations of Regions of Star formation. Llamen a la Guardia Civil, por favor.
- ASAS-SN: All-Sky Automated Survey for SuperNovae. Asesino del abecedario, claro.
- BATMAN: Bad-Ass Transit Model cAlculatioN. ¡Pero esto qué es!
- BIGASS: Bright Infrared Galaxy All Sky Survey. ¡Culo grande!
- DONUT: Direct Observation of NU Tau. ¡Ñam, ñam!
- FaNTOmM: Fabry-perot of New Technology for the Observatoire du mont Megantic. ¡Sujétame el cubata!
- FATBOY: The Florida Analysis Tool Born of Yearning for high-quality scientific data. Posiblemente del creador de DONUT.
- FIREFLY: Fitting IteRativEly For Likelihood analYsis. Elegimos las letras de donde nos da la G-A-N-A.
- GANDALF: Gas AND Absorption Line Fitting algorithm. ¡Friki!
- HELLAS: High-Energy Large Area Survey. Ponemos dos «L» porque estuve en Grecia de viaje de novios.
- H0LiCOW: H0 Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring. Letras, números y caos, todo en uno.
- LUCIFER: LBT near infrared spectroscopic Utility with Camera and Integral Field unit for Extragalactic Research. No solo la «H» es muda en el abecedario, sino que también hay consonantes invisibles.
- MARTINI: Multi-Aperture Real Time Image NormalIzation system. ¡Sujétame el Martini!

- MIRLIN: Mid-InfraRed Large Imager. No significa nada, así que ponle una «N» al final.
- MOSAIC: MDM/Ohio State/ALADDIN Infrared Camera. ¡Policía!
- PEPSI: Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument. La chispa de la ciencia. ¡Ah, no!
- POLARBEAR: POLARization of the Background millimEter bAckground Radiation. Los osos polares deben estar avergonzados.
- POOPSY: Phase One Observing Proposal SYstem. ¿En serio?¿*Poop*?
- PROSAC: PROtostellar Submillimetre Array Campaign. Acabaron deprimidos de buscar acrónimos.
- QUIJOTE: Q-U-I JOint TEnerife. ¿Qué es esto?
- SAURON: Spectroscopic Areal Unit for Research on Optical Nebulae. Otro friki.
- SLoWPoKES: Sloan Low-mass Wide Pairs of Kinematically Equivalent Stars. Toques lentos...
- SHIT: Super Huge Interferometric Telescope. Su investigación fue una mi...
- SPECULOOS: Search for habitable Planets EClipsing ULtra-cOOl Stars. ¡Pa'bernos matao!
- TANGOinPARIS: Testing Astroparticle with the New Gev/tev Observations Positrons And electRons: Identifying the Sources. ¡Insuperable!
- TATOOINE: The Attempt To Observe Outer-planets In Non-single-stellar Environments. No solo es bueno, sino que representa lo que estudia, planetas con más de un sol. Que la fuerza sea con nosotros.

Las agencias espaciales tienen algunas de sus sondas e instrumentos más conocidos con nombres decentes como:

- SHERLOC: Scanning Habitable Environments

with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals.

- SMART-1: Small Missions for Advanced Research in Technology-1.
- LADEE: Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer.
- GRAIL: Gravity Recovery and Interior Laboratory.
- DART: Double Asteroid Redirection Test.
- SLIM: Smart Lander for Investigating Moon.

Pero en otras ocasiones no tienen miedo al ridículo y preparan acrónimos completamente infumables como:

- DIXI: Deep Impact eXtended Investigation. En busca de PIXI.
- MESSENGER: MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging. El mensajero sideral que cogía una o dos letras, al gusto.
- OSIRIS-REx: Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer. Un brutal *crossover* entre dinosaurio y dios egipcio.
- WATSON: Wide Angle Topographic Sensor for Operations and eNgineering. Fantástica compañía para SHERLOC aunque me invente la «N».
- SELENE: SELenological and ENgineering Explorer. Tres, dos, uno...
- LCROSS: Lunar CRater Observation and Sensing Satellite. Porque yo lo valgo.
- InSight: INterior exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport. Pito, pito, gorgorito.
- CONTOUR: COmet Nucleus TOUR. Induráin estará orgulloso.
- MAVEN: Mars Atmosphere and Volatile EvolutioN. Esa «N» no es problema.

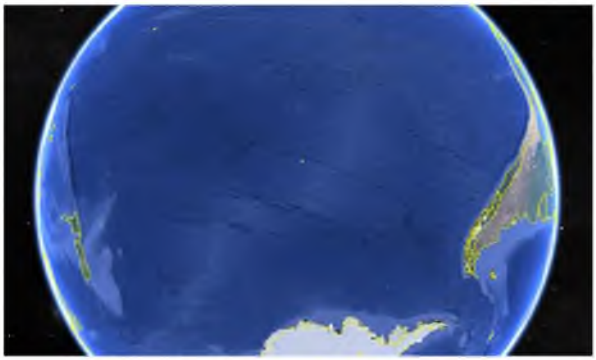
- DSCOVR: Deep Space Climate ObserVatoRy. Las vocales están sobrevaloradas.
- DESTINY+: Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage with Phaethon fLyby and dUst Science. La traca final, tienen el Nobel seguro.

¿Me puede caer un cohete chino en la cabeza?

Seamos sinceros, la verdad es que sí. Mientras tengamos cabezas y mientras se lancen cohetes al espacio, la probabilidad siempre existe. Pero claro, esa probabilidad es infinitamente menor que la que tienes de que te toque la lotería varias veces seguidas, que te caigan un par de rayos o incluso un meteorito impacte en tu casa, solo tienes que comparar el tamaño de tu cabeza (o tu casa, tu barrio o tu ciudad) con toda la superficie del planeta donde puede caer. Siempre hay que tener en cuenta que todos los objetos que están en el espacio acaban cayendo (como hemos visto en capítulos anteriores) en nuestro planeta, pero también hay que tener claro que las posibilidades para que eso ocurra son muy pequeñas, ya sea por la caída de un cohete, un satélite o una estación espacial completa, puesto que en su mayor parte quedan vaporizados en la atmósfera y solo caen algunos de los fragmentos más resistentes. El problema es que de vez en cuando a la prensa le da por sacar noticias de contexto, exagerar un titular o llamar la atención para subir su audiencia, o por puro desconocimiento del tema convierten un hecho relativamente cotidiano desde hace 60 años en algo catastrófico, extraordinario y digno de una peli de Will Smith, con impactos catastróficos en Nueva York, Moscú o Madrid.

La realidad es que en el espacio tenemos objetos de todos los tamaños y cuando se adentra en la atmósfera un satélite con unas dimensiones de entre unos pocos centímetros y algunos metros no suele ser noticia, entre otras cosas porque esto ocurre casi a diario. Y en el caso de los objetos más grandes la mayoría de las reentradas suelen ser controladas, de forma que se encienden por última vez los motores de la nave o el cohete para provocar una entrada atmosférica en una zona predeterminada. Esta zona normalmente suele ser la parte central del océano Pacífico Sur, llamada el «punto Nemo» o «polo de inaccesibilidad del Pacífico», dado que es la región más remota y deshabitada del

planeta. Esta zona se encuentra tan alejada de cualquier región poblada o incluso de tierra firme (el punto más cercano es la Antártida a 2700 km), que en muchas ocasiones las personas más cercanas a esa zona son los astronautas de la Estación Espacial Internacional cuando la sobrevuelan. Las agencias espaciales han usado desde siempre esa región para hacer descender sus satélites, estaciones y cohetes, ya que el riesgo para las personas es inexistente. Además el riesgo también es muy bajo para la vida en el mar, puesto que al estar tan alejado de las costas y de las corrientes marinas que llevan los nutrientes, no hay especies viviendo en esa zona, por lo que es considerada como biológicamente muerta.



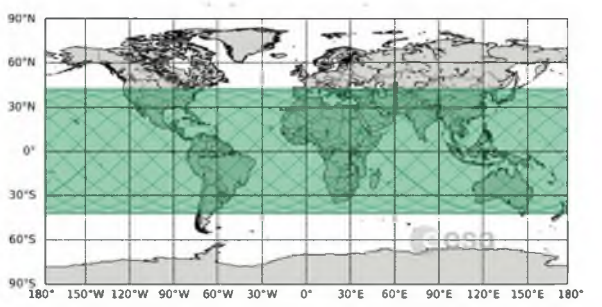
El punto Nemo se encuentra en medio de la nada. Lo más cercano que podemos encontrar es la Antártida a 2700 km (abajo), algo más lejos está Sudamérica (derecha) y mucho más lejana está Nueva Zelanda (izquierda). En ese punto el océano Pacífico tiene una profundidad de 3750 metros. Imagen: Google Earth.

Sin embargo, a veces saltan noticias referidas a reentradas de objetos más grandes de lo habitual, como pueden ser etapas de cohetes o incluso estaciones espaciales, sobre todo si han quedado fuera de control y por tanto sin posibilidad de elegir el lugar de la caída. Cuando esto ocurre, toda la superficie del planeta que se encuentre entre las latitudes norte y sur que recorra el objeto en su órbita quedarán como

posibles zonas de caída. Si, por ejemplo, una etapa de cohete tiene una órbita con una inclinación de 0°, eso significa que solo sobrevuela el ecuador terrestre y como resultado caerá en cualquier zona del ecuador. Si tenemos un objeto con una inclinación en su órbita de 90°, eso significa que vuela de polo a polo de nuestro planeta y, por consiguiente, durante cada órbita va recorriendo todas las latitudes norte y sur y su caída cubre toda la esfera terrestre. Normalmente los objetos suelen tener unas inclinaciones intermedias, y si tenemos una etapa de cohete con una órbita inclinada 45°, su zona de caída podrá ir desde los 45° norte a los 45° sur sobre la superficie de la Tierra. Conocer con antelación y exactitud el momento y lugar de la reentrada de un objeto incontrolado en el espacio es muy complicado, ya que en órbita baja se da una vuelta por completo a nuestro planeta cada 90 minutos. Si los cálculos dan una incertidumbre para la caída de 24 horas, esto implica que el objeto pueda caer en cualquiera de las 16 órbitas que realizará en ese intervalo de tiempo. Conforme queda poco más de un día para la reentrada, siempre se va refinando el momento exacto de la caída y por tanto se descartan las órbitas anteriores y posteriores a ese periodo, por lo que la región de caída se va reduciendo. Y en las últimas 24 se reduce aún más la incertidumbre y solo van quedando las zonas por las que pasará en sus dos o tres posibles órbitas finales, que recorrerán todo el planeta pero solo por encima de zonas muy concretas.

En 1977 tuvimos una de las primeras «alarmas» mundiales cuando el satélite espía soviético llamado Cosmos 954 perdió el control en diciembre y sus órbitas se volvieron completamente erráticas a partir de ese momento. De inmediato saltaron las alertas, ya que el satélite usaba un pequeño reactor nuclear cargado con 50 kg de uranio 235 para generar su electricidad. Dado que estaba fuera de control, podría caer en cualquier lugar del mundo con una latitud norte o sur menor de 65°, lo que cubría la mayor parte de las zonas pobladas. El 24 de enero de 1978, el

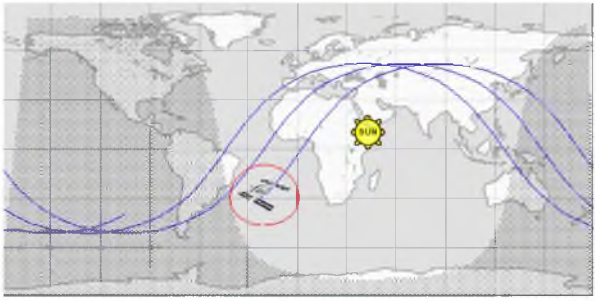
Cosmos 954 realizó su reentrada atmosférica y se fragmentó por completo sobre el norte de Canadá, en un área de 600 kilómetros de ancho y esparciendo todo el material radiactivo por una zona de 124 000 kilómetros cuadrados. Las tareas de limpieza, que duraron meses, solo lograron recuperar el 1 % del uranio, quedando el resto en la atmósfera y el suelo canadiense.



En la franja podemos ver las zonas del planeta donde podía caer la estación china Tiangong-1 en 2018, y las líneas indican las órbitas previstas para 24 horas alrededor de la posible hora de caída, quedando reducido el riesgo solo a esas zonas. Conforme se va acercando más el momento de la caída se puede conocer mejor la franja de horas en las cuales puede caer, y por tanto suelen quedar solo dos o tres de esas órbitas como posibles zonas de impacto. Imagen: ESA.

Al año siguiente el mundo entró en paranoia total cuando se supo que la Estación Espacial Skylab, de 25 metros de longitud y 76 toneladas de peso, estaba a punto de caer a la Tierra de forma prácticamente incontrolada. En sus momentos finales la NASA solo podía hacer maniobras para hacerla girar sobre sí misma, pero no podía frenarla ni alterar su órbita, así que los medios de comunicación comenzaron a hacer apuestas. Incluso algunos medios llegaron a ofrecer dinero a quien se presentara en los estudios con un fragmento del Skylab, y en Filipinas el presidente del país tuvo que hacer un llamamiento para calmar a buena parte de la población que estaba en pánico y se

habían producido algunos saqueos. Finalmente la estación se quemó en la atmósfera unas horas antes de lo previsto y acabó disgregada en una región poco poblada del oeste de Australia, aunque numerosos testigos pudieron ver cómo ardían los fragmentos en el cielo antes de caer. Debido al «vertido incontrolado de chatarra», el Gobierno australiano multó al de los Estados Unidos con 400 dólares, aunque una llamada del presidente Carter al primer ministro australiano cambió la multa por una caja de cervezas. El periódico *San Francisco Examiner* había ofrecido una recompensa de 10 000 dólares a la primera persona que llevara en menos de 48 horas algunos fragmentos a la redacción. Así que un joven de 17 años de Australia metió en una caja un par de docenas de pequeños fragmentos que encontró en su jardín y cogió un vuelo hacia California para cobrar la recompensa.



Si el mapa de la Tierra lo extendemos en forma de plano, las órbitas inclinadas adquieren un aspecto en forma de onda. Este es el recorrido de la Estación Espacial un día cualquiera durante tres órbitas completas. Podemos ver que se encuentra en la parte del planeta iluminada por el Sol, que cada órbita la llevará a sobrevolar zonas un poco más al oeste (hacia la izquierda, ya que la Tierra va rotando «hacia la derecha») y las líneas nos indican que llega hasta los 52° de latitud norte y sur. Imagen: NASA/Johnson Space Center.

Ya en el más reciente 2016 la primera estación espacial china, llamada Tiangong-1, quedó fuera de

control y su caída podía producirse en cualquier región entre las latitudes de 43° N y 43° S, algo que finalmente ocurrió en abril de 2018 sobre el océano Pacífico, sin mayores consecuencias. Y en mayo de 2021 tuvimos una nueva alarma mundial con este tipo de eventos, cuando se dio a conocer que la etapa principal del cohete Long March 5 de 33 metros de longitud y 21 toneladas de peso (sin combustible, cargado llega a las 186 toneladas) estaba sin control y que acabaría desintegrándose en cualquier región del mundo entre los 40° N y 40° S. Esto provocó la aparición de numerosos titulares alarmistas indicando que la caída podría producirse en algunas ciudades concretas, aunque finalmente el cohete acabó reentrando cerca de las islas Maldivas, en el océano Índico, el 9 de mayo de 2021, a las 02:14 GMT, unos minutos después de sobrevolar el norte de España.

¿Cómo puedo seguir la trayectoria de un satélite?

La trayectoria terrestre (*ground track*, en inglés) es el recorrido que realiza un satélite sobre nuestro planeta mientras lo está orbitando y nos sirve para saber cuándo pasará por encima de nosotros. Sobre un mapa de la Tierra, la proyección de las órbitas inclinadas son muy curiosas puesto que tienen una forma ondulada que nos indican los territorios que van sobrevolando y donde podemos ver las zonas de latitud máxima norte y sur hasta donde llegan. Pero ¿un satélite que orbite nuestro planeta siempre sobrevuela la misma zona una y otra vez? Si nuestro planeta no tuviera rotación, siempre volaríamos sobre los mismos lugares. Pero nuestro planeta tiene una rotación sobre su eje, girando sobre sí mismo, y eso provocará que en la siguiente órbita pasemos por otra región algo más al oeste debido a ese desplazamiento de la Tierra que gira en sentido este. De esta forma, iremos recorriendo en cada nueva órbita una franja distinta de terreno. A la altura de la ISS tardaremos unos 92 minutos en realizar una órbita completa, por lo que al cabo de un día habremos realizado al menos 16 órbitas, cubriendo con ello toda la superficie entre las latitudes mencionadas. En Internet y en las tiendas de aplicaciones de nuestros teléfonos tenemos numerosas aplicaciones que nos permiten seguir el desplazamiento de muchos satélites alrededor de nuestro planeta y que nos dirán cuándo son visibles en el cielo al atardecer y al amanecer.

PARTE TRES

Capítulo 7

El primero

El 12 de abril de todos los años se celebra en todo el mundo el Día Internacional de la Astronáutica, en honor al primer vuelo tripulado al espacio en la historia de la humanidad, que fue llevado a cabo por Yuri Gagarin en su misión Vostok 1. Estos son algunos de los datos y anécdotas del vuelo:

- La mitad de los cohetes que se habían lanzado antes del vuelo de Gagarin habían explotado o fallado. Por tanto tenía un 50 % de posibilidades de volar con éxito.
- Su pulso se mantuvo entre 64 y 70 durante los minutos previos al despegue.
- La misión Vostok 1 despegó desde Baikonur el 12 de abril de 1961 a las 06:07 UTC (hora universal). El pulso le subió a 157 latidos por minuto, aunque bajó con rapidez poco después.
- El nombre en clave de Yuri en las comunicaciones durante la misión fue Кедр («Kedr o Cedro»).
- Cuando llevaba 100 segundos de vuelo le preguntaron «¿Cómo te sientes?», a lo que respondió: «Yo bien, ¿y vosotros?».
- El vuelo duró 108 minutos en total: 9 para el ascenso a órbita, 89 en órbita y 10 para el descenso a tierra.
- La altura máxima alcanzada durante su vuelo fue de 302 km, unos 70 km más de lo esperado.
- Los mandos de la nave estaban bloqueados y toda la misión fue automática, aunque en la nave había un sobre cerrado con los códigos de desbloqueo por si ocurría una emergencia. Eran necesarios 6 dígitos, de los cuales Gagarin conocía 3 y los otros estaban dentro del sobre.
- Aunque el vuelo era corto, Yuri llevaba un tubo de comida que contenía una pasta de hígado y ternera. Para el postre tenía otro tubo

que contenía una pasta de chocolate. Con eso se quería comprobar si podía comer y tragar bien los alimentos, para futuros vuelos más largos.

- Durante el vuelo se mantuvieron las comunicaciones por radio, e incluso hubo alguna retransmisión de televisión en directo.
- Una hora después del lanzamiento, y tras verificar que la nave estaba en órbita con éxito, la Unión Soviética anunció al mundo que había lanzado la misión Vostok 1 con Yuri Gagarin como el primer cosmonauta. De todas formas, a los 20 minutos de vuelo los servicios secretos de Estados Unidos ya habían captado el lanzamiento desde Alaska y a los 38 minutos ya habían interceptado las comunicaciones habladas, confirmando que había un humano dentro.
- Tras encender los motores de retroceso para realizar la reentrada atmosférica, debía desprenderse el módulo de servicio, que llevaba los motores y las baterías. De esta manera reentraría solamente con la cápsula esférica donde se encontraba, ya que de no separarse la nave no adoptaría la orientación correcta y podría arder en la atmósfera. El sistema de separación falló y el módulo quedó unido por varios cables que no se habían cortado, por lo que la nave estuvo dando vueltas sin control durante 10 minutos, hasta que el propio rozamiento con la atmósfera y el calor lograron desprender el módulo. Finalmente la cápsula pudo terminar el descenso de forma segura sin más sobresaltos.
- A unos 7 kilómetros de altura se disparó de forma automática el sistema de eyección y Yuri salió disparado de la cápsula y aterrizó en paracaídas, cayendo a unos cientos de metros de su nave. La Unión Soviética mantuvo este detalle en secreto, ya que

pensaba que la Federación Astronáutica Internacional (IAF) solo homologaría el vuelo si el astronauta llegaba hasta el suelo con la cápsula. Hasta 1971 no reconocieron que Yuri aterrizó en paracaídas, pero de todas formas la IAF ya había homologado el vuelo, al reconocer que las fases de lanzamiento, órbita y reentrada son las más peligrosas y eso era suficiente para reconocer la misión.

- El aterrizaje ocurrió a 26 km al suroeste de la ciudad de Engels, cerca de Smelovka. Una vez en el suelo tardó 6 minutos en poder abrir una válvula en su casco y respirar el aire fresco del exterior.
- Tras subir a una colina vio a lo lejos a una mujer con una niña y se dirigió hacia ellas para preguntarles dónde había un teléfono, para poder comunicar que había aterrizado bien. La mujer se paró cuando vio a un hombre vestido con un raro traje naranja y la niña salió corriendo asustada, por lo que tuvo que gritar: «¡Soy amigo, soy soviético!». Al cabo de un rato se acercaron unos agricultores, a los que les dijo quién era y lo que había hecho, a lo que le respondieron que ya lo habían oído en la radio. Poco después una unidad militar lo localizó y fue felicitado por telegrama por los dirigentes del país.
- Y un poco de cotilleo: en septiembre de ese año, cuando ya era mundialmente conocido y asistía a numerosas celebraciones, fue a un hotel con su esposa para otro acto de homenaje. Al día siguiente fue pillado borracho por su esposa en otra habitación con una enfermera, que inicialmente le había curado las heridas causadas por un accidente de navegación, pero se ve que su relación fue más allá de lo profesional. De forma poco valiente, trató de escapar saltando por la ventana, pero en la caída se provocó graves

heridas en la cabeza, entre ellas la reconocible cicatriz que llevaba en su frente y la ceja izquierda. Tuvo que ser ingresado y el incidente casi le cuesta la vida.

- Durante su intensa vida fue héroe nacional, figura internacional, diputado, político, coronel de la Fuerza Aérea, director de entrenamiento de astronautas, fue alejado de futuros vuelos para no perderlo en un accidente, mujeriego, bebedor abrumado por la fama, fue apartado por segunda vez de los vuelos espaciales tras el accidente mortal de la Soyuz 1 e incluso se graduó en Ingeniería Aeroespacial. El 27 de marzo de 1968 falleció al estrellarse a las afueras de la ciudad de Kirzhach con su avión de combate, junto al instructor de vuelo Vladimir Seryoguin.
- Поехали! o ¡Poyéjali! significa «¡vamos!» en ruso y fue la primera palabra que dijo Gagarin al despegar, quedando desde entonces como una frase simbólica por el gran logro conseguido y como la palabra que marca el comienzo de la época en la que los humanos salimos de nuestro planeta.

¿Queda mucho? Me hago pis

Eran las primeras horas del amanecer del 12 de abril de 1961, cuando en una desértica región del sur de Kazajistán un destartalado autobús recorría la carretera a toda velocidad. De pronto, y de forma inesperada, el vehículo se detiene en el arcén. Todo queda en silencio. Se abre la puerta y por ella baja con su traje de cosmonauta el señor Yuri Gagarin, que con cara de apuro se dirige veloz hacia la parte trasera del autobús.

Yuri Gagarin en el autobús, rumbo a la torre de lanzamiento. Detrás iba Gherman Titov que también estaba preparado para volar si hubiera sido necesario. Imagen: NASA.

Tras unos segundos de espera, suena una cremallera y se oye un chorrito de líquido caer sobre la rueda. Instantes después, Gagarin trae otra cara de vuelta al autobús donde se sube, se cierra la puerta y prosigue su camino hasta la torre de lanzamiento en Baikonur. Acabamos de presenciar un momento culminante de la historia de la exploración espacial, ya que esos terribles instantes en los cuales el señor Yuri Gagarin ya no podía más, tras algunas horas metido en el traje, terminaron con final feliz. Como su vuelo pionero y su fugaz meada fueron todo un éxito, desde entonces este gesto se ha convertido en una tradición que nadie

perdona. Cualquier hombre o mujer, con ganas o sin ganas, que se dirija a la torre de lanzamiento en Baikonur, debe hacer el ritual de bajarse del autobús y echar un alegre chorrito hacia la desdichada rueda. Si tienes ganas lo haces, si no las tienes disimulas con una sonrisita y si eres mujer llevas un botecito de tu propia orina para verterlo en la rueda. Todo sea por mantener la tradición de mear en la rueda del autobús antes de volar al espacio.

Pero claro, los envidiosos de la NASA no iban a ser menos, y aunque por suerte no ha pasado a convertirse en una rutina sagrada, cosas así fueron más habituales de lo que pensamos. Estamos también en las primeras horas del 5 de mayo de 1961, cuando el astronauta Alan Shepard se subía a la cápsula Freedom 7 para ser lanzado al espacio en un pequeño vuelo parabólico de 15 minutos. El vuelo era corto, pero la espera para el despegue era ya insoportable al acumularse varias horas de retraso. Llegó un momento en el que Alan le dijo al control de misión con tono muy serio: «Me hago pis». Tras dudar unos instantes en el Centro de Control, sin saber si era una broma o realmente una urgencia, le dijeron que aguantara, pero eso ya no era técnicamente posible. Salir por su cuenta de la nave no estaba en los planes. Y llevar de nuevo a los técnicos a la torre de lanzamiento para que abrieran la cápsula y que el señor Shepard pudiera mear desde las alturas tampoco era viable, ya que provocaría demasiado retraso. Por tanto, tras una profunda reflexión idearon un ingenioso plan: «háztelo encima», le dijeron. Total, que en ese momento el aliviado astronauta procedió a cumplir la orden sin ninguna incidencia, por suerte para él. Algunos técnicos temían que el líquido pudiera caer al asiento y filtrarse hasta llegar a algún componente eléctrico, que podría quemarse. O peor aún, que algún cable que estuviera cerca de esa zona del cuerpo se cortocircuitara. No quiero ni pensarlo. Por suerte el mono de algodón que llevaba como ropa interior absorbió todo el líquido y para el momento

del despegue todo estaba seco. Ni gota, ni gota. Desde entonces todos los astronautas llevaron un dispositivo para recoger la orina o un pañal, lo cual hizo las misiones espaciales más seguras y sobre todo logrando que esos incómodos momentos fueran más íntimos. A nadie le gusta orinarse encima en directo para millones de personas.

La histórica y accidentada misión Vosjod 2

La misión Vosjod 2 (o Voskhod 2, en ruso Восход-2) realizada por el piloto Alexei Leonov y el comandante Pavel Belyayev, entre el 18 y el 19 de marzo de 1965, pasó a la historia por ser la primera vez que un ser humano realizaba un paseo espacial, saliendo fuera de su cápsula con su traje como única protección. La misión en sí era un poco extraña, ya que para realizar el paseo no se podía despresurizar la cápsula, abrir la puerta y salir al exterior, como era lo esperable. Debido al diseño de sus componentes, no se podía despresurizar y volver a llenar de aire la cápsula tras la caminata, así que se le añadió en el exterior una esclusa inflable llamada Volga. Por tanto, el cosmonauta Leonov se introduciría en ella, la despresurizaría y desde allí saldría al exterior, permitiendo que la cápsula con Belyayev permaneciera habitable. Una vez fuera en el espacio, Leonov pudo comprobar en ese instante, por primera vez, cómo era la sensación de flotar completamente libre en el vacío del espacio para un ser humano, pues solo estaba unido a la nave por un cordón umbilical de cinco metros. Pasados 12 minutos y 9 segundos de paseo, el cosmonauta volvió a entrar en la esclusa finalizando con éxito el primer paseo espacial de la historia.

O al menos eso es lo que parecía entonces, puesto que años después se desclasificaron documentos que demostraron que la misión Vosjod 2 fue toda una pesadilla para sus tripulantes. La única tarea asignada a Leonov para su corto vuelo fue la colocación de una cámara en el exterior para que inmortalizara su paseo, pero aquí se acabaron las buenas noticias. Cuando un instante después intentó usar la cámara que llevaba en su pecho, comprobó con horror que con su brazo no llegaba al disparador que se encontraba acoplado a su muslo, porque debido a la presión del interior, el traje se le había hinchado como si fuera un muñeco de Michelín. Lejos de ser una broma, el astronauta no podía doblar los brazos ni las

piernas, ya que el traje se había quedado completamente rígido debido a la diferencia de presión con el exterior. Todos los movimientos eran agotadores y el exceso de sudor empañó por completo su casco, quedándose casi sin visión al exterior. El corto paseo fue tan agotador que más tarde se reportó que había perdido 6 kg y su temperatura corporal aumentó 2 °C en esos 12 minutos. Dada la situación, Leonov optó por abrir una válvula que dejaba salir aire al exterior, hasta llegar a niveles por debajo de lo permitido y sin informar del proceso al control de la misión. Antes de entrar a la nave, debía recoger la cámara con las imágenes de su vuelo, pero estaba atascada y tuvo que tirar con fuerza para arrancarla haciendo numerosos esfuerzos. Por si fuera poco, la entrada a la estrecha esclusa debía hacerse «con los pies por delante», para poder cerrar luego la puerta exterior de la esclusa. La situación era tan extrema que entró directamente de cabeza y una vez dentro intentó girarse, pero se quedó atascado durante varios minutos. Tras bajar de nuevo la presión de su traje hasta casi quedarse sin aire, se las apañó para poder darse la vuelta, cerrar la puerta exterior y con ello salvar la misión y su propia vida. Si no hubiera podido cerrarla, tampoco habría podido entrar en la cápsula y su compañero tendría que haberlo abandonado en el espacio, procediendo a la separación de la esclusa. Una vez terminado el terrible paseo, y ya en el interior, ni él ni su compañero lograban cerrar la compuerta de la cápsula al exterior, por lo que tuvieron que emplear un rato en empujarla y forzarla al límite.

Cuando por fin arreglaron este problema y ya estaban listos para volver a casa, el sistema automático de aterrizaje falló, por lo que hicieron una reentrada atmosférica manual, sin controles automáticos. Al no haberse situado los cosmonautas correctamente dentro de la nave, debido al poco espacio existente, el centro de masas no estaba bien alineado y tardaron un minuto más de la cuenta en

realizar la reentrada. Esto provocó que el aterrizaje se produjera finalmente a unos 400 km de la zona prevista (y donde estaban esperando los equipos de rescate), en una zona boscosa a 75 km de la ciudad de Perm, en los Urales.

Los equipos de rescate charlan con los cosmonautas de la Vosjod 2 tras localizarlos en el bosque. Imagen: Roscosmos.

Inicialmente los equipos de rescate no tenían ni idea de dónde había ido a parar la cápsula y ni siquiera sabían si los cosmonautas habían fallecido o cuál era su estado. Mientras se ponía en marcha un despliegue para localizarlos, Leonov y Belyayev se encontraban en medio de un bosque nevado de la taiga, lleno de lobos y osos más agresivos de lo habitual, por encontrarse en la época de apareamiento. La zona tenía tan difícil acceso que los localizaron antes del anochecer pero no pudieron rescatarlos, así que ambos se dispusieron a pasar la noche en aquella zona con la única protección de una pistola que solían llevar las tripulaciones soviéticas. Al llegar la noche las temperaturas bajaron de los -5 °C y se protegieron de las temperaturas con todo lo que encontraron, encendiendo un pequeño fuego en el exterior, ya que la calefacción de la cápsula no funcionaba. A la mañana siguiente llegó un pequeño grupo de rescate que les trajo mantas, comida y les ayudó a construir

una pequeña cabaña donde pasar todos la siguiente noche hasta que vinieran a sacarlos de allí. Al día siguiente, y con ayuda de esquíes, lograron recorrer varios kilómetros hasta llegar a una zona despejada, desde donde fueron evacuados finalmente en helicóptero. Si te ha gustado la historia, tienes una película llamada *El tiempo de los primeros* (*Vremia Pervyj*, en ruso) o *Spacewalks*, de 2017, donde se narra la aventura (algo adornada) de esta histórica misión.

La tragedia anunciada de la Soyuz 1

Vladímir Mijáilovich Komarov. Ese es el nombre de otro cosmonauta que pasará a la historia, pero en lugar de recibir la gloria y los homenajes, Komarov encontró la muerte. Y además una muerte absurda y posiblemente evitable. Nos encontramos en abril de 1967 y la Unión Soviética, que había sido la pionera en el espacio con el primer lanzamiento de un satélite artificial y el primer vuelo tripulado, se encuentra en la incómoda situación de ver a los Estados Unidos a punto de adelantarles en la carrera espacial. El exitoso programa Gemini y sobre todo el gigantesco programa Apolo, que llevaría al ser humano a la Luna, estaban poniendo a los norteamericanos en cabeza. La Unión Soviética había finalizado sus programas iniciales en el espacio llamados Vostok y Vosjod y ahora quería volver a liderar la carrera con una nave más ambiciosa, conocida como Soyuz. El problema era que la Soyuz aún no estaba preparada y todos los primeros vuelos de prueba habían fracasado. En los anteriores programas era necesario que al menos un vuelo de prueba tuviera éxito antes de meter a un cosmonauta dentro de la cápsula. Por desgracia, los cuatro vuelos iniciales de prueba de la Soyuz habían terminado en estrepitosos fracasos, pero aun así estaban decididos a lanzar la siguiente cápsula con un cosmonauta dentro. Las presiones políticas eran enormes, ya que a finales de abril se celebraba el aniversario de Lenin y a comienzos de mayo el Día del Trabajo. Así pues, era vital realizar un lanzamiento que demostrara que seguían teniendo el poder tecnológico y que además sirviera de propaganda política. Al mando del programa Soyuz se encontraba Vasily Mishin, quien ya era consciente del peligro del vuelo, y su primera propuesta fue enviar como tripulante a algún ingeniero de su equipo que fuera «poco fiable» (políticamente hablando, claro). Esta descabellada idea fue descartada, no porque les diera pena, sino porque no había tiempo ni para darles una instrucción básica a técnicos que no habían recibido

un entrenamiento de cosmonautas. Finalmente se eligió a Komarov como tripulante para la Soyuz 1 y Yuri Gagarin sería el cosmonauta de reserva. Esto sorprendió a todo el equipo del programa espacial, puesto que si Komarov enfermaba tendría que volar Gagarin y por tanto se pondría en juego la vida del mayor mito de la Unión Soviética, algo inimaginable. El propio Yuri Gagarin quería subir en esta primera misión, ya que estaba convencido de que su país no se la jugaría arriesgando su vida. Pero Komarov, que era mucho más consciente del estado real de la Soyuz, llegó a declarar: «Si yo no vuelo mandarán al piloto de reserva y él moriría en mi lugar», lo que deja ver que tenía bastante claro que si lo lanzaban al espacio, su muerte sería prácticamente segura. Era él o su amigo Yuri. Y eligió volar él. La locura además era mayor, pues los planes continuarían al día siguiente con el envío de otra nave, la Soyuz 2, con tres cosmonautas dentro. La idea era realizar un acoplamiento con la Soyuz 1 en órbita, después saldrían todos al espacio y se intercambiarían las naves para volver de nuevo a la Tierra, lo cual sería todo un hito espacial. El problema era que las Soyuz no estaban acabadas, tenían más de 100 problemas identificados sin resolver y además los soviéticos no tenían ninguna experiencia en los acercamientos entre dos naves, y mucho menos para pensar en un acoplamiento. Además, incluso estando acopladas, los cosmonautas no podían pasar de una nave a la otra por el interior porque el propio sistema de acoplamiento no estaba finalizado. ¿Qué podía salir mal?

Así que el 23 de abril de 1967, el señor Komarov se metió en la cápsula, encendieron el cohete y fue lanzado a órbita. Una vez allí los problemas fueron continuos: uno de los dos paneles solares no se abrió, el otro panel no se orientaba correctamente, el sistema de orientación fallaba y como resultado las baterías no se recargaban lo necesario debido a todo lo anterior. Por tanto, se decidió que la nave debía volver a tierra firme en la órbita número 17, ya que se

quedaría sin electricidad poco después. Algún lumbreras pensó en lanzar la Soyuz 2 para que se acoplara a ella y le arreglara el panel solar, pero las condiciones meteorológicas y lo descabellado de la idea hicieron que se cancelara la misión. En la vuelta 16 le dieron las instrucciones para el descenso, los responsables del programa le desearon suerte, el primer ministro Kosygin le deseó suerte y su esposa fue al Centro de Control a despedirse de él, por si todavía alguien dudaba del destino final de la misión. Así pues, Komarov, tras hablar por última vez con su mujer, procedió a realizar las maniobras para el descenso. Sin embargo, nuevos problemas de orientación impidieron el funcionamiento de los motores y la nave tuvo que seguir en órbita sin apenas corriente eléctrica. Sin electricidad la nave no solo perdería el control de la temperatura, sino que no podría accionar ningún botón ni podría encender los motores para volver a nuestro planeta, por lo que se quedaría en órbita hasta que se le acabara el oxígeno, muriera de frío o se quedara sin bebida. Lo que ocurriera antes. Finalmente, en la órbita 19 se decidió que controlara la cápsula manualmente y utilizara la Luna como punto de referencia para orientarse y poder encender los motores con la dirección adecuada. El proceso fue casi perfecto y, a pesar de varios problemas, la nave entró en la atmósfera terrestre. Cuando estaba a pocos kilómetros de altura se abrió el pequeño paracaídas piloto que ayudaría para sacar el principal, pero este no se desplegó y la nave siguió cayendo sin control. Segundos después, los sistemas de la nave detectaron la situación y se disparó el paracaídas de emergencia. Por desgracia, al abrirse se enredó con el paracaídas piloto y por tanto la nave siguió bajando a toda velocidad, para terminar estrellándose contra el suelo a casi 200 km/h, a lo que siguió una explosión y un incendio.

A pesar de que unos meses antes (el 27 de enero) habían fallecido los tres astronautas del Apolo 1 en una prueba en la torre de lanzamiento, Komarov fue

la primera persona en fallecer durante una misión espacial. Y todo apunta a que si hubieran lanzado la Soyuz 2, también habrían seguido la misma suerte, todo debido a unas presiones políticas sin sentido y a la falta de tiempo y de pruebas necesarias, en una nave que iba a llevar a una persona dentro.

Los restos de la Soyuz 1 arden en el suelo de la estepa soviética. Imagen: Roscosmos.

Animales astronautas. De los perros a los tardígrados

Todos hemos oído hablar de la perrita Laika, pero ¿sabemos cuántos animales han ido al espacio? Y lo más inquietante, ¿cuántos han vuelto? ¿Se siguen enviando animales al espacio actualmente? Estos que vamos a ver son los claros y oscuros de los primeros pasos con animales en el espacio. En la década de los cuarenta y los cincuenta del siglo pasado, el espacio era un ambiente completamente desconocido. No se sabía nada sobre él y por supuesto tampoco se conocían los efectos que sobre el organismo humano tendría la falta de gravedad. ¿Se pararía el corazón? ¿Circularía bien la sangre? ¿Las radiaciones serían letales? ¿Podríamos comer y hacer la digestión? Son dudas muy básicas, pero en esos momentos nada ni nadie había subido hasta allí arriba para comprobarlo, por lo que cualquier precaución era poca. Por tanto, antes de enviar seres humanos al espacio era necesario enviar animales, para comprobar que volvían vivos y en buen estado de salud. Entre las especies animales que han volado de forma más frecuente al espacio tenemos los perros, monos, chimpancés, gatos, ratones, conejos, tortugas, ranas, pájaros, arañas, moscas y otros insectos. El primer animal que llegó al espacio no fue la conocida perrita Laika, sino una cajita llena de moscas de la fruta, que fueron lanzadas al espacio en 1947 dentro de un misil V-2 desde Nuevo México. El misil llegó hasta los 109 kilómetros de altura y pasaron a la historia como los primeros seres vivos que abandonaban nuestro planeta, aunque fueran los 3 breves minutos que tardó el cohete en llegar al espacio y posteriormente realizar el descenso en paracaídas. Todas las moscas volvieron vivas.

El primer mamífero en seguir el camino de las moscas fue el macaco Albert II (sin lazos conocidos con la realeza), que voló en otro V-2 en 1949, batiendo un nuevo récord de altura con 135 kilómetros sobre nuestro planeta. Por desgracia, su paracaídas falló en

el descenso y no pudo recuperarse con vida. Durante los quince años que duró el programa de lanzamientos suborbitales con monos y ratones, fallecieron alrededor de un 60 % de ellos debido a diversos fallos, como la explosión del cohete en el ascenso, fallos en las cápsulas o problemas con el paracaídas. En una frenética carrera contra la URSS, se sucedieron varios vuelos fallidos con Albert I, III, IV y V, pero el vuelo de Albert VI fue un éxito, ya que aunque solo llegó a los 72 km de altura, volvió vivo al suelo. Por desgracia para él, los equipos de rescate tardaron un tiempo en llegar al lugar de aterrizaje y murió por las altas temperaturas en el desierto.

En 1951 los soviéticos también consiguieron espectaculares avances con el cohete V-2 alemán, lo rebautizaron R-1 y lanzaron también sus propios animales al espacio. En un vuelo lanzaron a los perros Tsygan y Dezik, que llegaron hasta los 110 km de altura y regresaron vivos en paracaídas hasta el suelo, siendo los primeros mamíferos en hacerlo. El 4 de octubre de 1957 los soviéticos entraron en la historia al poner en órbita el primer satélite artificial, conocido como Sputnik-1, que despegó a bordo de un cohete R-7. Pocos días después del memorable evento, el 3 de noviembre se volvía a hacer historia, ya que el Sputnik-2 era lanzado al espacio con una ilustre pasajera, la perra Laika, que tenía su suerte echada antes de volar. Tras un lanzamiento y un vuelo sin incidentes, en el regreso la cápsula se desintegró en la atmósfera, puesto que no estaba preparada para soportar las altas temperaturas. La nave no tenía posibilidades de volver intacta y por tanto tampoco llevaba paracaídas. Por suerte esa fue la excepción, dado que en total fueron enviados cerca de 60 perros al espacio en los años cincuenta y sesenta y la mayoría sobrevivieron al vuelo, excepto en aquellas misiones en las que algún componente falló. Tras Laika volaron Belka y Strelka en agosto de 1960 (volvieron con éxito), Pchyolka y Mushka en diciembre de 1960 (falló la reentrada), Chernushka en marzo de 1961 (volvió con

éxito) y Zvyozdochka en marzo de 1961 (volvió con éxito), antes del primer vuelo del peor animal de todos, el del ser humano en abril de 1961. En 1966 los perros Veterok y Ugolyok establecieron el récord de permanencia en el espacio para animales, al superar los 21 días en órbita y volver al suelo de una pieza en la misión Cosmos 110.

Un poco antes, en 1959, los Estados Unidos seguían en su carrera por enviar el primer ser humano al espacio y los vuelos con primates se acumulaban. En mayo, un misil Jupiter AM-18 tuvo como tripulación a un macaco rhesus llamado Able y a una mona ardilla llamada Miss Baker. Tras volver con éxito del vuelo, Able falleció días después por una infección debido a un implante de sus sensores. Por su parte, Miss Baker fue la primera primate en sobrevivir a un vuelo orbital, llegando a vivir un total de 27 años, hasta 1984. Able no tuvo esa suerte y, por desgracia para él, se encuentra disecado y expuesto en el National Air and Space Museum de Washington.

Otros simios que volaron posteriormente entre 1959 y 1961 fueron Sam, Miss Sam, Ham, Enos, Goliath y Scatback, la mitad de ellos sin mucha suerte. De todos ellos, el vuelo más destacable fue el del chimpancé Ham, que saltó a la fama al convertirse en el primer homínido en llegar al espacio el 31 de enero de 1961, cuando a bordo de un cohete Mercury-Redstone (MR-2) llegó a los 251 km de altura, en 16 minutos de vuelo. Ham fue entrenado para realizar una serie de tareas durante el vuelo, entre ellas tirar 50 veces de varias palancas, con las cuales solo tuvo dos fallos que fueron «recompensados» con sendas descargas eléctricas. Por si fuera poco, la misión la realizó con un termómetro en forma de sonda rectal de 16 cm de longitud y en el descenso llegó a sufrir una desaceleración de 14,7 g. Tras amerizar, la cápsula se comenzó a llenar de agua, pero Ham pudo ser rescatado y se le premió con una manzana. Tras ello continuó con una vida fuera de los focos durante 20 años más en el zoo de Washington, falleciendo en 1983

a los 26 años de edad. Después la NASA solo ha realizado dos vuelos más con simios, en 1969 el macaco Bonny voló en la misión Biosatellite 3 y en 1985 los monos ardilla llamados n.º 3165 y n.º 384-80 volaron en la misión STS-51B del Transbordador Espacial. Podemos confirmar que estos monos volvieron con vida y que no fueron bautizados por Elon Musk.

En la foto podemos ver a Ham cuando ya se encontraba a salvo en el barco que lo recogió. Su cara parece decir: «la próxima vez me dais uno de esos termómetros para el sobaco». Imagen: NASA/US Navy.

Además de la URSS y Estados Unidos, tan solo Francia en 1967, Argentina en 1969, China en 2001 e Irán en 2013 han enviado monos, perros, cobayas, conejos y otros animales al espacio, generalmente en vuelos rodeados de secretismo y desinformación. Desde la década de los ochenta hasta la actualidad, ha sido muy frecuente el envío de animales al espacio para experimentos internacionales en el Transbordador y en la ISS. Hoy en día se trabaja generalmente con especies de menor tamaño que al inicio de la carrera espacial, con animales como pueden ser grillos, ranas, moscas, serpientes, peces, arañas, abejas, hormigas, tardígrados, etc. El último vuelo del Columbia en 2003, que acabó con la muerte de sus 7 tripulantes, también llevaba numerosos

experimentos científicos con animales, entre ellos polillas, arañas, abejas, hormigas, peces y nematodos, así como varias especies de gusanos acuáticos y terrestres de comportamiento parásito y que causan enfermedades como la triquinosis y la anisakiasis. Como curiosidad, el experimento de los nematodos fue recuperado entre los restos del Transbordador encontrados en Texas y aún seguían vivos en ese momento.

Alan Shepard en su cápsula Freedom 7, justo antes de cerrarse la escotilla. Los ojos ya indicaban que algo no iba bien. Imagen: NASA.

En 2007 la misión rusa Foton-M3 también envió al espacio dos especies de tardígrados, que fueron deshidratados y sometidos a una especie de letargo. Los contenedores fueron abiertos y expuestos al vacío del espacio, donde recibieron la radiación solar, las

achicharrantes temperaturas al Sol y las heladoras temperaturas a la sombra. Al volver la cápsula a la Tierra, los tardígrados fueron rehidratados y volvieron a la vida con total normalidad, como si nada hubiera pasado. ¡Menudos bichos! Y en noviembre de 2011 la misión rusa Fobos-Grunt portaba un experimento llamado Living Interplanetary Flight Experiment (LIFE-Fobos), promovido por Planetary Society. Este experimento pretendía llevar por primera vez a seres vivos más allá del sistema Tierra-Luna, concretamente hasta Marte, y traerlos de nuevo de vuelta junto a muestras de la luna Fobos. Sin embargo, un fallo en el lanzamiento provocó que la nave junto con los tardígrados acabaran en el fondo del océano, y por lo que sabemos de estos bichos, aún pueden estar vivos.

En abril de 2019 llegó a la Luna una sonda israelí llamada Beresheet, con la intención de posarse con suavidad en su superficie. Además de varios instrumentos científicos, la nave llevaba una especie de Arca que representaba a la Tierra, incluyendo varios discos con 30 millones de documentos de nuestro planeta, muestras de ADN humano, la Wikipedia completa en inglés y un contenedor con miles de tardígrados deshidratados en el interior de una resina epoxi y envuelta en níquel para conservarse mejor. Como pasa en las mejores familias, la sonda se estrelló al llegar al suelo lunar y explotó. Dada la fama de duros de estos microchucknorris, no se descarta que actualmente estén montando una colonia lunar y decidan invadir la Tierra en los próximos años.

El auténtico macaco Able, expuesto en el National Air and Space Museum en Washington. Lo único bueno de esta imagen es que hoy sería inconcebible hacer algo así con un animal. Aunque bueno, sigue habiendo museos y casas con animales disecados. Imagen: NASM.

Y como otro experimento destacable que fue realizado recientemente, tenemos a la sonda china Chang'e-4, que aterrizó en la cara oculta de la Luna el 3 de enero de 2019. La sonda portaba un experimento llamado Lunar Micro Ecosystem, que consistía en un contenedor hermético con semillas de algodón, patata, colza, *Arabidopsis thaliana*, levadura y huevos de mosca de la fruta, para generar una especie de

biosfera. La intención era estudiar si la producción de dióxido de carbono por parte de las larvas era aprovechado por las semillas para crecer y si el oxígeno de las plantas servía para mantener vivas a las moscas. La temperatura se mantuvo todo el tiempo a 24 °C, con una fuente de luz especial para la fotosíntesis. El 15 de enero la agencia china CNSA informó que había germinado el algodón, la colza y la patata, pero al día siguiente comunicaron que el experimento había finalizado al caer la temperatura a -52 °C, debido a la llegada de la noche lunar y por un fallo en el sistema de calentadores.

Como podemos ver, la experimentación con animales en el espacio ha ido progresando, al igual que nuestras conciencias, en las últimas décadas. Hemos pasado de unos primeros años en los cuales la falta de tecnología adecuada, la menor sensibilidad con los animales y el miedo a mandar humanos sin saber qué les podía pasar llevó a realizar algunas misiones bastante discutibles. En la actualidad, cuando ya conocemos cómo se comporta el cuerpo humano en ausencia de gravedad, la experimentación se centra en pequeños insectos, roedores o animales microscópicos. Quién sabe si dentro de 60 años a las personas les sorprenderá tanto lo que hacemos nosotros con los animales en el espacio, al igual que nos sorprende a nosotros lo que se hacía hace 60 años.

Capítulo 8

Los árboles de la Luna

¿Hay árboles plantados en la Luna? No, evidentemente no, para nada. Nos referimos a los árboles «de» la Luna, y esta es su historia. El 31 de enero de 1971, despegaba desde la torre de lanzamiento 39A del Kennedy Space Center la misión Apolo 14, con el astronauta Alan Shepard como comandante, Edgar Mitchell como piloto del módulo lunar (LM-8 Antares) y Stuart Roosa como piloto del módulo de comando (CM-110 Kitty Hawk). Era la primera misión tras el accidente del Apolo 13 y la NASA había tenido que modificar muchos componentes del módulo de comando para evitar que se pudiera repetir la situación. Un nuevo fallo en el vuelo no solo pondría en riesgo la vida de los astronautas, sino que además peligraría la continuidad al completo del programa Apolo. En esta misión, era la labor de Roosa quedarse en el módulo de comando en órbita lunar, a la espera de que Shepard y Mitchell descendieran a la Luna, instalaran los experimentos, recogieran muestras lunares y volvieran a la órbita un día y medio después. Además de cuidar el módulo, el piloto debía realizar observaciones de la superficie lunar y llevar a cabo algunos experimentos. Como iniciativa del servicio forestal de Estados Unidos y la NASA, dentro del equipaje personal de Roosa volaron clasificadas y separadas unas 500 semillas de 5 tipos de árboles distintos: pino taeda, goma dulce (liquidámbar), secuoya, abeto de Douglas y sicomoro. A la vuelta de la misión, todas estas semillas fueron repartidas por el territorio de los Estados Unidos y otros lugares del mundo para ser sembradas, siendo conocidos desde entonces como los «árboles de la Luna».

Uno de los árboles de la Luna, que crece actualmente en el Centro Espacial Goddard. Imagen: NASA.

Zonas donde se han plantado los árboles de la Luna en los Estados Unidos. Imagen: NASA.

De esta manera, se intentó comprobar si el viaje espacial producía algún efecto en estas semillas, además de crear conciencia sobre el Servicio Forestal y el medioambiente. En aquella época el Servicio Forestal tenía un grupo llamado los «saltahumos», que se lanzaban en paracaídas desde los aviones para combatir las llamas en lugares de difícil acceso y del que Roosa formó parte antes de ser astronauta y piloto militar. Las semillas fueron entregadas a la tripulación por Ed Cliff, que era el jefe del Servicio Forestal, y por el genetista Stan Krugman, que las seleccionó. Tras la misión y durante las tareas de procesado de la bolsa que contenía las semillas, se produjo un accidente que llegó a comprometer a muchas de ellas. Aun así, fueron enviadas a varios lugares del país para ver si germinaban, llegando a nacer hasta un total de 450 árboles. Una vez que hubieron crecido un poco, en los años siguientes se repartieron en colegios, institutos, parques y oficinas federales, en función de las condiciones climáticas de cada zona y cerca de su «hermanos terrestres» para comprobar si con el tiempo se les encontraba alguna diferencia respecto a los árboles «normales» (*spoiler*: no). Como curiosidad, un ejemplar de pino taeda se encuentra actualmente en el jardín de la Casa Blanca,

algunos de ellos crecen en varios de los centros de la NASA y otros fueron enviados como regalos a Brasil, Suiza y Japón. Como último detalle de esta bonita historia, debes saber que a los árboles de segunda generación, que han nacido de las semillas de los árboles de la Luna, se les llama los árboles de la media Luna.

Los medallones del Apolo 14

La NASA siempre ha sido muy cuidadosa con el posible uso comercial que se le podía dar a los objetos que los astronautas llevaban a la Luna. El primer incidente serio con este tema tuvo lugar tras la misión del Apolo 14 en febrero de 1971, cuando surgió una polémica con los medallones conmemorativos de ese vuelo. Para cada misión lunar, los astronautas llevaban consigo algunos de estos medallones, que más tarde podían repartir entre sus amistades, familiares o para quedárselos de recuerdo. Pero en la misión Apolo 14 la cantidad de medallones aumentó, ya que los astronautas Alan Shepard, Stuart Roosa y Edgar Mitchell llegaron a un acuerdo verbal con la casa de monedas privada Franklin Mint, para devolverles algunos de ellos tras el vuelo. El problema llegó cuando la empresa decidió fundir un puñado de estos medallones que habían volado a la Luna junto con otros metales, para acuñar una nueva serie de medallones más numerosa y que sirvieran de reclamo para conseguir nuevos socios para el Club de Coleccionistas de Franklin Mint. Además, estas monedas también sirvieron como reclamo publicitario en numerosas revistas, por lo que su uso comercial fue demasiado evidente. Por si fuera poco, Shepard llevó dos pelotas de golf y un palo para golpearlas en la superficie lunar y la empresa fabricante aprovechó las imágenes para promocionar su producto a nivel nacional. Tras estos hechos, la NASA decidió no amonestar a sus astronautas puesto que no recibieron ningún dinero por estos actos, pero comenzó a controlar mucho más la cantidad de objetos y monedas que subieron en sus siguientes misiones, aunque sin mucho éxito, como veremos. Además, las tripulaciones del Apolo 15 y todas las siguientes recibieron serios avisos para que no llevaran con ellos ningún objeto que les permitiera ganar dinero, ni a ellos, ni a ninguna empresa. Por si fuera poco, cada objeto debía ser personalmente aprobado por Deke Slayton, el supervisor de los

astronautas, y todo debería ser documentado y firmado por la tripulación. Como vamos a ver, algunos más listillos decidieron ignorarlo todo y pasarse las normas de la NASA por el forro de su traje lunar.

Uno de los medallones de la misión Apolo 14. Imagen: Heritage Auctions / NASA.

Los caraduras del Apolo 15

Esta historia es seguramente la del mayor escándalo que se produjo durante el programa Apolo, ya que los astronautas tenían expresamente prohibido llevar cualquier objeto al espacio con el que se pudiera ganar dinero. Estamos en la mañana del 26 de julio de 1971, en el Kennedy Space Center de Florida, cuando se puso en marcha la cuarta misión de aterrizaje lunar. La misión del Apolo 15 fue la primera que iba a llevar un rover para desplazarse por la Luna, llamado Lunar Roving Vehicle, y también la primera que llevaría a cabo una mayor cantidad de experimentos científicos y de recogida de muestras. El comandante era David Scott, el piloto del módulo lunar fue James Irvin y en órbita lunar se quedó Alfred Worden como piloto del módulo de comando.

David Scott procede a poner el matasellos en los dos sellos que llevaron hasta la superficie lunar. Imagen: NASA.

En esos momentos, el programa Apolo y el interés por el espacio estaba en su apogeo y había una auténtica fiebre por conseguir productos filatélicos relacionados con el espacio. El Servicio Postal de los Estados Unidos sacaba numerosas colecciones de sellos relacionados con el programa espacial, los

matasellos hacían referencia a las misiones y los propios sobres de las cartas venían con dibujos y fotografías espaciales. De esta manera, uno de los objetos más codiciados y valiosos era un sobre con motivos espaciales, que tuviera un sello de la misión Apolo del momento y que el matasellos fuera puesto en el Kennedy Space Center el día del lanzamiento. Eso era lo máximo. Por eso, durante el programa Apolo era casi una tradición preparar decenas de cartas con sellos conmemorativos y llevarlas a matasellar a la oficina de correos del propio centro espacial en el día del despegue, para que fueran repartidas entre los amigos y familiares de los astronautas que se las quedaban de recuerdo. Además los astronautas de las misiones del Apolo 11, 13 y 14 llevaron consigo varias de esas cartas hasta la Luna en sus mochilas de objetos personales y se las quedaron para ellos. En la misión Apolo 15 la cosa se disparó y volaron 144 cartas autorizadas por la NASA en los *kits* de objetos personales de los astronautas, para que luego fueran repartidas con amigos, familiares y técnicos de la misión. Cómo sería la fiebre filatélica, que el propio comandante Scott, antes de entrar al módulo lunar tras una excursión, puso un matasellos especial a dos sellos sobre la superficie de la Luna, que actualmente están expuestos en el National Postal Museum en Washington.

Pero la historia de esta misión tenía un secreto, ya que antes del vuelo el señor Horts Eiermann, que era un conocido de los astronautas, les propuso subir 100 cartas al módulo lunar Falcon, para que luego pudieran ser vendidas por un coleccionista alemán. A cambio, cada uno de ellos recibiría unos 8000 dólares (de la época), que serían puestos a nombre de sus hijos. Así que Scott y sus compañeros aceptaron y además decidieron por su cuenta que prepararían otras 300 cartas más, que se quedarían para ellos. El propio Scott se encargó de conseguir todas las cartas y envió a un técnico a la oficina de correos de la NASA para que fueran matasselladas el mismo día del

lanzamiento. Una vez selladas, los astronautas las escondieron en varios bolsillos de sus trajes espaciales y no dijeron nada a la NASA, ni tampoco aparecían en la lista de objetos personales que podían llevar, por lo que eran objetos no autorizados que volaron de contrabando, en contra de las normas de la agencia. Además, cuando volvieron de la Luna, las cartas fueron de nuevo selladas en la oficina postal del portaaviones USS Okinawa, que los recogió tras el amerizaje. Finalmente los astronautas le dieron 100 de las cartas a Eiermann y cada uno de ellos se quedó con otras 100 para regalarlas o venderlas por su cuenta. Pero a finales de ese mismo año, el exastronauta Deke Slayton, que en ese momento era el supervisor de los astronautas, se enteró por varios rumores de que la tripulación del Apolo 14 estaba vendiendo parte de las 144 cartas que volaron oficialmente en la misión. Tras llamarlos se reunió con ellos y les pidió a los tres que dejaran de hacerlo, antes de que la cosa fuera a más. Lo que no podía imaginar Slayton es que unos meses más tarde, a pesar de las advertencias que les hizo antes y después de la misión, se enteraría de que la tripulación había hecho negocio subiendo otras 400 cartas hasta la Luna de forma ilegal. Tras una bronca monumental, los eliminó como tripulación de reserva del Apolo 17 y les obligó a devolver todo el dinero que habían obtenido. Por desgracia para ellos, en el verano de 1972 la prensa se entera de todo lo sucedido, de cómo engañaron a varios técnicos de la NASA para que fueran preparadas para subir a la nave y la manera en la que las pasaron sin permiso al módulo lunar. Por tanto, se abrió una investigación oficial y todos acabaron declarando en el Senado. Curiosamente, los miembros del Comité de Investigación del Senado trataron a los astronautas como estrellas de Hollywood y parecía que lo único que habían hecho mal era ser un poco ingenuos, pero que actuaron de buena fe. Y a los responsables de la NASA los convirtieron en culpables de todo lo sucedido, por no haberlo evitado y no disponer de los

suficientes controles. Tras la investigación, la NASA pidió a 15 astronautas, incluyendo a los que habían volado entre las misiones Apolo 7 y Apolo 13, que devolvieran todos los objetos que no habían volado de forma oficial. Muchos de ellos se negaron en principio, pero posteriormente fueron entregando cartas, sellos y monedas conmemorativas por las fuertes presiones ejercidas, que incluían amenazas de la NASA de hacerlo todo público. Todos ellos fueron retirados de futuras misiones, pero aquellos que no hicieron negocio y pidieron disculpas pudieron volar posteriormente en las misiones Skylab. La rocambolesca historia finaliza en 1983, cuando el astronauta Al Worden demandó al Gobierno de los Estados Unidos por el tema de las cartas y acabó ganando el juicio. Así pues, la NASA se las tuvo que devolver a los tres astronautas del Apolo 15, que en los siguientes años vendieron algunas de ellas por grandes cantidades de dinero.

El escándalo de la primera obra de arte en la Luna

Y por si la misión Apolo 15 no hubiese tenido bastante con las cartas de contrabando, le tenemos que sumar otra polémica causada por la primera obra de arte que se encuentra en la superficie lunar. Todo comienza cuando el escultor belga Paul Van Hoeydonck, fanático de la carrera espacial, decide establecerse a finales de los años sesenta en los Estados Unidos para continuar con su obra, que está completamente inspirada en el espacio. Tras varios rechazos, su trabajo fue expuesto con relativo éxito en la galería Dick Waddell, en la calle 57 de Nueva York. Al ver el monolito de la película *2001, una odisea espacial*, pensó en la posibilidad de colocar un monumento en la Luna y, tras muchos esfuerzos, logró a través de un intermediario una reunión con los astronautas del Apolo 15 en un restaurante de Cocoa Beach. A los astronautas les pareció genial la idea de llevar una obra de arte hasta la Luna y cerraron un acuerdo verbal, para alegría de Van Hoeydonck. Por tanto, el artista se puso manos a la obra y comenzó a pensar en una obra que fuera pequeña, sencilla, realizada con materiales resistentes y que simbolizara la aventura del ser humano en el espacio, sin que fuera distinguible su género o raza en el diseño. Dada las restricciones de peso, al final hizo una pequeña figura humanoide en aluminio, de 9 cm de alto y unos pocos gramos de peso, para que pudiera volar con los astronautas y resistiera las temperaturas extremas de la Luna.

El pequeño humanoide de aluminio descansa en la superficie lunar junto a la placa de homenaje a los astronautas fallecidos (*The Fallen Astronaut*). Imagen: NASA.

Al final, la figura voló al espacio dentro de un bolsillo del traje lunar de David Scott y la tripulación la dejó en la superficie lunar durante una breve ceremonia, junto a una placa de homenaje a los 14 astronautas y cosmonautas fallecidos durante sus misiones o en accidentes de coche o avión. De hecho, la ceremonia fue tan breve que ni siquiera dijeron nada de la estatuilla antes, durante, ni después del evento, por lo que desde la Tierra no se tuvo constancia de que se depositara en la superficie lunar. Todo esto puso muy nervioso a Van Hoeydonck, quien no sabía qué había pasado con su obra de arte, ni tampoco obtenía respuestas claras por parte de la NASA. Cuando volvieron de la Luna, los astronautas dieron una rueda de prensa y nombraron la ceremonia de homenaje a los caídos, pero no dijeron el nombre del autor de la estatuilla. Esto ya hizo reventar a Van Hoeydonck, ya que además de no decir su nombre en la rueda de prensa, el acto de homenaje a los astronautas fallecidos no era lo que había pactado con los astronautas, puesto que su obra quería simbolizar la épica del viaje espacial tripulado. A partir de ese momento las versiones nunca han

coincidido, debido a que los astronautas dijeron que se había pactado mantener en secreto el nombre del artista, algo que Van Hoeydonck ha negado siempre. Además, el belga siempre dejó claro el objetivo de su obra, cosa que los astronautas han negado en varias ocasiones. Más tarde el Museo Smithsonian solicitó a la NASA una copia de la obra y el artista la realizó encantado, pero de nuevo su nombre tampoco aparecía por ningún lado a pesar de sus protestas y de que no se reconociera su trabajo. Harto de esperar y de sentirse maltratado por la NASA, el artista, junto con los responsables de su galería de arte, decidieron hacer la situación pública para todo el país en una entrevista televisada con el mítico periodista espacial Walter Cronkite, en la que contaron todo lo sucedido y el verdadero sentido de su obra. Dada la repercusión que tuvo la entrevista, comenzaron a hacer copias de la obra para venderlas, aunque eso provocara el fin de su relación con la NASA. Cuando la agencia espacial se enteró, mandó a sus abogados a hablar con Van Hoeydonck y la charla finalizó con amenazas que consiguieron la retirada de todas las copias del mercado. La prensa se enteró del intento de venta de las copias y se puso en contra del artista y su galería, a los que tacharon de oportunistas ante la opinión pública norteamericana. Ya en 2013, y con cuatro décadas de retraso, el Smithsonian y la NASA invitaron al artista a una serie de charlas y conferencias, donde reconocieron el mal trato que dieron a Van Hoeydonck y por fin quedó reconocido públicamente como el primer artista que puso su obra en la Luna. Si tienes más curiosidad por la historia, te recomiendo que busques el documental *The Fallen Astronaut*, donde se detalla lo ocurrido con declaraciones del propio artista.

Los primeros restos arqueológicos en la Luna

No te asustes, no estamos hablando de antiguos restos de extrañas civilizaciones secretas, sino de algo mucho más realista y terrenal. Cuando la tripulación del Apolo 11 aterrizó en la superficie lunar en julio de 1969, la humanidad hizo historia. Historia con mayúsculas, ya que fue la primera vez que los seres humanos pisaban un mundo que no era el nuestro, en un acontecimiento protagonizado por Neil Armstrong y Buzz Aldrin. Al igual que en la Tierra tenemos leyes y acuerdos internacionales sobre muchos temas, como la conservación del patrimonio mundial, en el espacio también tenemos leyes. El 27 de enero de 1967 se firmó en Londres el Tratado del Espacio Exterior, un intento de plasmar en un documento unos principios mínimos de convivencia en la exploración espacial, permitiendo la libertad de las naciones para explorar, pero también llamando a respetar las instalaciones o investigaciones del resto de países.

Pues en un paso más, el 31 de diciembre de 2020 los Estados Unidos aprobaron una ley llamada Un Pequeño Paso para Proteger el Patrimonio Humano en el Espacio, que obliga a las compañías y entidades que trabajan con la NASA a proteger los lugares de aterrizaje en la Luna, incluyendo los módulos de descenso y las primeras pisadas lunares. El Tratado del Espacio Exterior ya habla en su artículo 9 de que la libertad de exploración debe tener en cuenta el respeto a los intereses de otros países y no interferir con ellos. Por tanto la nueva ley es una afirmación más en la necesidad de actualizar y potenciar este tratado, para incluir como Patrimonio de la Humanidad aquellas primeras sondas y vehículos tripulados que se posaron en otros mundos. Creo que estamos de acuerdo en que sería un error imperdonable no proteger todos estos lugares, que ahora y en el futuro dirán a la historia si somos una generación que hizo la gran proeza de explorar por primera vez el sistema solar o si fuimos tan egoístas que no protegimos esos lugares históricos cuando

tuvimos la oportunidad.

Cuando una nave llega a la Luna ¡no se dice aterrizar! Sí, si se dice

Para finalizar este capítulo, una pequeña nota de «cuñado espacial». Cuando decimos que una nave aterriza, no significa que lo haga en la Tierra, sino «en tierra», en el suelo, en el terreno. Al igual que cuando se hace en agua se dice «amerizar», aunque sea en el mar, en un océano o en un lago. Da igual en qué objeto del sistema solar posemos una nave, si tocamos el suelo la palabra adecuada es aterrizar y si tocamos un líquido la palabra es amerizar, en lugar de tener que inventar una palabra nueva en cada ocasión. Pero bueno, si decidimos usar «alunizar», deberíamos ser consecuentes y usar también un nombre distinto por cada cuerpo donde nos posemos: amartizar, amercurizar, avenusar, atitanizar, aeuropizar, aplutinizar o en el caso extremo de la sonda Philae sería «achrurimovgerasimenkizar». Las misiones Apolo aterrizaron en la Luna y Perseverance aterrizó en Marte. Puedes usar los términos que prefieras, pero pienso que así es más fácil, ¿no?

Capítulo 9

Guía del autoestopista orbital. Historias que debes conocer si vas a subir al espacio

Cosas que debes saber sobre tu cuerpo si subes al espacio

- Lo primero que tienes que saber si subes al espacio es que durante los primeros cuatro días tendrás la llamada «cara de Luna», debido a que tu cara se hinchará, dado que la sangre se redistribuye por el cuerpo de otra manera sin gravedad y sube más a la cabeza. Tras unos días, tu cuerpo aprende cómo compensar la situación y vuelves a tener tu aspecto normal.
- Una cosa que no encontrarás en órbita son las bebidas con gas, que no vuelan al espacio. La causa la tenemos en la ausencia de gravedad, ya que cualquier intento por eructar podría acabar en vómito. Y no queremos eso en una nave cerrada. El astronauta Jim Newman dio con un truco y comprobó que si empujaba una pared para desplazarse hacia atrás, esto permitía que durante unos instantes la comida permaneciera en el estómago y podía eructar tranquilo. Un pequeño eructo para un hombre, un gran paso para la humanidad.
- También debes tener en cuenta que si finalmente vas a vomitar, debes tener una toalla a mano, porque el vómito no se quedará en el fondo de la bolsa sino dando vueltas por ella hasta que vuelva a tu cara. El autoestopista galáctico tenía toda la razón, una toalla es el objeto más útil en el espacio.
- Como es complicado expulsar gases por la boca cuando estás en el espacio, la tendencia es hacerlo por abajo y algunos astronautas han admitido que hicieron intentos para propulsarse por la Estación Espacial a base de peos. Por suerte para sus compañeros no lo lograron, tal vez porque la tercera ley de Newton no funciona si llevaban los pantalones subidos.
- En las primeras misiones espaciales era muy

frecuente que la orina se escapara dentro del traje de astronauta y les llegara hasta las piernas o los brazos, incluso saliendo al exterior del traje. Tras muchas revisiones de todos los conductos y comprobar que todo estaba bien, la conclusión de la NASA fue que los astronautas más «macho-alfa» pedían sus condones recolectores de la orina una talla más grande de la que les correspondía y al final se les acababa saliendo el pis por todas partes. Con la llegada de la mujer al espacio y la utilización de pañales para hombres y mujeres, este problema pasó a la historia.

- Si te encuentras en plena caminata espacial y de pronto te salen unas lágrimas, unas gotas de sudor o te pica la nariz, ¿qué haces? Parte del entrenamiento consiste en saber cómo sobrellevar estas situaciones e incluso entrenan cómo tienen que estornudar para evitar llenar de saliva el casco y perder parte de la visión.
- Muchos astronautas dicen que la comida no les sabe a nada y el motivo no es que todo lo que sube allí arriba esté liofilizado, sino que los mocos no caen hacia abajo por la nariz y sienten una continua congestión nasal, perdiendo parte del sentido del olfato (algo útil si tus compañeros usan poco la ducha o juegan a autopropulsarse por la nave). Por tanto, es muy frecuente que la mayoría pidan comidas picantes, con mucha sal y con sabores fuertes.
- Dormir no es fácil en el espacio, ya que tienes un amanecer cada 90 minutos. Además, como no hay un lugar en el que tumbarse, los astronautas tienen sus sacos de dormir anclados a las paredes, se meten dentro por completo para evitar que los brazos queden flotando, se tapan los ojos porque siguen encendidas algunas luces dentro de la nave y

usan tapones para los oídos por los incontables motores que resuenan por la nave. Muchos tardan varios días en acostumbrarse a poder dormir sin apoyar la cabeza ni la espalda en ningún lugar.

- En muchas misiones espaciales los astronautas sufrían enormes dolores de cabeza y no había ninguna explicación médica para ellos, ni exceso de presión arterial, ni falta de oxígeno, ni ruidos intensos, ni vapores. El motivo era que la liofilización (la ultracongelación y envasado al vacío para eliminar agua) del café para enviarlo al espacio lo dejaba sin apenas cafeína y algunos astronautas sufrían un síndrome de abstinencia, al dejar de recibir sus dosis diarias.
- Debido a que no hay gravedad, los músculos de todo el cuerpo tienden a atrofiarse y perder fuerza, por lo que el ejercicio es una parte muy importante de la rutina de todos los astronautas. Para ello la Estación Espacial dispone de una pequeña zona de «gimnasio» donde pasan entre dos y tres horas diarias de entrenamiento, tanto con bicicleta como con cinta para correr. Todo esto ayuda a mantener la densidad ósea, la masa muscular y el corazón en un estado razonablemente normal.
- La temperatura corporal sube 1 °C en el espacio, marcando unos 38 °C en reposo y 40 °C tras una intensa actividad física.
- Y por cierto, el corazón tiende a volverse más redondeado y algunos astronautas sufren algunas alteraciones cardíacas menores, sin que suponga ningún peligro para su salud.
- Y esa misma ausencia de gravedad hace que muchos crezcan entre 3 y 5 centímetros durante una misión espacial, debido a la falta de presión en la columna vertebral. De todas formas vuelven a recuperar su altura normal

al volver a casa.

- Y esa vuelta a casa suele ser complicada si la misión ha sido muy larga, ya que no estás acostumbrado a sentir la gravedad. En las misiones más cortas del Transbordador los astronautas no tenían mucho problema en salir andando de la nave y bajar las escaleras. Pero en las misiones más largas en la Estación Espacial, es habitual ver cómo tienen que sacar a los astronautas a pulso de la nave y los llevan en tumbonas especiales hasta un pequeño hospital de campaña o un helicóptero para examinarlos y dejar que se recuperen antes de volver a andar.
- Esta debilidad se produce por la pérdida de masa muscular, que puede llegar hasta el 20 % en los 10 primeros días en el espacio. Ya que no es necesario hacer esfuerzos para moverse o para andar, los músculos se van atrofiando y se debilitan. Incluso se ha comprobado que las fibras de «contracción lenta», que son las que usamos para hacer grandes esfuerzos, son sustituidas por otras de «contracción rápida», que impiden andar o coger pesos a la vuelta de un viaje espacial. Unos ejercicios específicos para ejercitar ciertos músculos, junto con nuevos medicamentos, permiten contrarrestar buena parte de este debilitamiento.
- Además se pierde un 1 % del tejido óseo cada mes, sobre todo en la cadera, el fémur y la columna vertebral, llegando a provocar casos de osteoporosis. Se suelen necesitar unos 3 años para recuperar los efectos producidos en los huesos por un viaje de 3 meses al espacio.
- Al estar fuera de la atmósfera, la cantidad de radiaciones recibidas es mucho mayor, por lo que aumenta el riesgo de padecer cáncer en el futuro, sobre todo leucemias.
- Y por si fuera poco, la práctica totalidad de los

astronautas vuelven a nuestro planeta con más miopía de la que tenían al emprender el viaje.

¿Qué se come en el espacio?

Cuando se habla de comida espacial todo el mundo piensa en pastillas raras y tubos con algún tipo de crema pringosa dentro, con colores sospechosos. Sin embargo, nada más lejos de la realidad. La comida espacial ha evolucionado espectacularmente en los últimos sesenta años y lejos quedan esas imágenes surgidas de las misiones de los años sesenta, que hemos visto en documentales o en películas. Bueno, tampoco es que se vayan a comer un cochinillo asado en la Estación Espacial, pero la dieta desde hace más de tres décadas es muy variada, equilibrada y, lo más importante, sabrosa. La humanidad siempre ha inventado nuevas formas de conservar la comida para almacenarla durante más tiempo, con métodos como el ahumado, el salado, la desecación, el escabeche, la salmuera, el enlatado o la congelación. El problema que nos encontramos a la hora de enviar comida al espacio es triple, ya que no solo debe estar preparada para durar mucho tiempo, sino que además debe pesar poco y ocupar el menor espacio posible. Y también deben tener algún sistema sencillo a la hora de comérselas, puesto que en el espacio no hay plato que valga.

Tubo de comida usado en la misión de John Glenn de 1962 consistente en puré de carne y verduras. Ñam, ñam. Imagen: NASA.

En los inicios de la carrera espacial tripulada, como

las primeras misiones de los proyectos Mercury y Vostok eran muy cortas, realmente no hacía falta ni comer. Aun así, los primeros astronautas y cosmonautas ya llevaban algunos alimentos para comprobar si el cuerpo humano era capaz de tragarlos y digerirlos en gravedad cero. Esto nos da una idea del total desconocimiento sobre el espacio que había en esa época, ya que muchas cosas eran completamente nuevas para nuestra especie y en ocasiones se iba prácticamente a ciegas, probando a ver qué pasaba. La primera comida que subió al espacio la llevaba el propio Yuri Gagarin, en su histórico vuelo del 12 de abril de 1961. A pesar de ser un vuelo de menos de dos horas, llevaba en su cápsula dos «apetitosos» tubos del tipo «pasta de dientes», que contenían un puré de carne de ternera con hígado y otro con chocolate de postre. Por parte de la NASA, la primera misión en llevar comida al espacio fue la Mercury Atlas 6, del vuelo orbital de John Glenn el 20 de febrero de 1962. En su caso, los tubos llevaban un puré de carne de ternera con verduras y otro de manzana como postre. Una vez comprobado que los tubos con alimentos eran fáciles de comer y que el organismo digería su contenido con normalidad, se siguieron usando estos tubos en los primeros años de la carrera espacial. Lo único que se buscaba en aquella época era una forma sencilla de alimentar al astronauta y que le permitiera sobrevivir en el espacio, usando algunas comidas ya probadas en el ámbito militar, como cereales triturados y compactados cubiertos de gelatina en formato de bocado individual. Toda una *delicatessen*.

Distintos tipos de comida usados en el programa Gemini a mediados de los sesenta, con tubos, comida liofilizada y cubitos de cereales prensados. La comida de los astronautas en esa época no era la mejor, pero tampoco comían con pastillas como se podría pensar. Las únicas pastillas eran las de los suplementos vitamínicos o para el dolor de cabeza. Imagen: NASA.

Este sistema de tubos era práctico, pero hacía que la comida no tuviera un aspecto reconocible ni apetecible. Además, el proceso de elaboración provocaba la pérdida de muchos nutrientes, por lo que pronto se comenzaron a preparar alimentos mediante el proceso de «liofilización». Este proceso, también conocido como «criodesecación», consiste en congelar un alimento rápidamente, para luego ponerlo al vacío. De esta manera el agua del hielo se hace gas y se sublima directamente, quedando un alimento completamente deshidratado, que pesa y ocupa mucho menos, que no necesita refrigeración y que además mantiene sus propiedades intactas, al no usarse ningún tipo de calor. En las misiones posteriores de los programas Mercury y Gemini ya se usaban este tipo de alimentos, a los cuales había que añadirles agua (fría, ya que no había agua caliente en la nave) justo antes de comer. Una vez añadida el agua, se amasaban un poco para lograr que entrara en el alimento y posteriormente se comían por una boquilla, la misma que se había usado para introducir el agua.

El astronauta Gene Cernan, con la barrita de comida (*food stick*) y el tubo del agua (*drink valve*) que podía accionar para beber y comer durante los paseos por la superficie lunar. El casco de cristal además llevaba una apertura con cierre, por la que se podía meter una «pistola» con agua o alimento líquido en caso de necesidad, pero nunca fue usado y además podría suponer un riesgo de despresurización del traje. Imagen: NASA.

En las misiones Apolo, la humanidad también dio un gran salto respecto a la comida espacial, al instalarse dispensadores de agua fría y caliente. Por tanto se dejaron de usar tubos de comida para dar paso a bolsitas que había que hidratar. E incluso había algunas que se podían comer con cuchara y ya venían hidratadas, mejorando su aspecto y consiguiendo que los astronautas comieran casi de verdad. La misión del Apolo 11, por ejemplo, llevaba menús de espaguetis con carne, guisos de pollo e incluso salchichas, el sueño de cualquier vegano. Por su parte,

los cosmonautas rusos llevaban la mayor parte de sus comidas al espacio en latas abrefácil, siendo muy jugosas y conservando todo su sabor. Y aunque el peso del alimento envasado de esta manera era entre tres y cuatro veces mayor que uno deshidratado, eso no era problema para los potentes cohetes rusos. En las misiones de finales de los años sesenta, los astronautas ya solían tener cada uno su pequeña «maleta» con los alimentos que habían elegido antes de despegar, aunque era bastante normal compartirlos una vez abiertos. Por ejemplo, las últimas misiones Apolo contaban con un menú de 80 alimentos, y con la ayuda de un dietista cada astronauta hacía una lista de lo que le apetecía comer para que se lo empaquetaran, junto con otras bebidas como sopas. E incluso durante las caminatas en la superficie de la Luna, los trajes llevaban dentro del casco un tubito dispensador de agua y una barrita de comida insertada en el borde del casco, para que pudieran darle bocados en caso de sentir algo de hambre.

El astronauta Edward G. Gibson del Skylab 4, preparando la cena en el «comedor» con las bandejas para colocar y calentar la comida. Imagen: NASA.

En los años setenta, y con la llegada de misiones

mucho más largas en la Estación Espacial Skylab, la NASA tenía que preparar alimentos que permitieran a los astronautas comer sano y cosas con buena pinta, puesto que estaba comprobado psicológicamente que empezar y terminar las jornadas con buenas comidas era bueno para la moral. Por este motivo, en la espaciosa Skylab, la NASA montó una zona de comedor con una parte central que hacía las veces de mesa y con cintas para meter los pies y reunirse alrededor de ella. La Skylab tenía un inconveniente respecto a la comida, ya que producía su electricidad con paneles solares. Y estarás pensando, ¿y eso que tiene que ver? Pues es un detalle importante porque en las misiones Gemini y Apolo, la electricidad se producía mediante el uso de las llamadas «celdas de combustible de hidrógeno y oxígeno» y su producto de «desecho» tras generar la electricidad era agua pura, por lo que en esas misiones el agua era abundante. En la Skylab, al contar con paneles solares, ese agua extra no existía, por lo que cualquier gota de agua era un lujo y por tanto la comida deshidratada era la excepción. En su lugar la NASA puso cerca del comedor un congelador, donde se almacenaba la comida, que ya tenía un aspecto comparable a la que comemos aquí abajo. Los astronautas lo único que tenían que hacer era sacar la comida y colocarla en sus bandejas en la mesa, que tenían un sistema para calentarlas y dejarlas listas para comer en unos minutos.

El sistema de rehidratación de la comida en la ISS, que permite controlar el volumen de agua y servirla a temperatura ambiente o caliente. Posteriormente se corta el plástico con unas tijeras por una esquina y se puede comer con cuchara. Justo debajo tienen un pequeño horno calentador donde pueden meter la comida termoestabilizada para calentarla. Imagen: NASA.

La Estación MIR también tenía una zona reservada para comer, con una mesa que contaba con varias zonas imantadas, donde se podían dejar las latas sin que salieran volando. Y además para las comidas deshidratadas, los rusos tenían un dispensador de agua fría y caliente. La llegada cada pocos meses de nuevas naves de carga Progress les permitía comer grandes cantidades de fruta y verdura fresca. Y años más tarde, la visita de astronautas de otros países y del Transbordador Espacial les permitía intercambiar comidas, ya que cada país suele preparar sus propios menús. Para el Transbordador Espacial, y en la actualidad para la Estación Espacial Internacional, el listado de comidas diferentes que están disponibles en el menú superan ya las 200, a las que hay que añadir las que traen los cosmonautas rusos, o los astronautas europeos y japoneses, que suelen traer alimentos preparados por sus propias agencias espaciales y que son incluidos en los menús de la ISS.

Cuando una misión de carga sube a la Estación (en naves Progress, HTV, Dragon o Cygnus y antes el Transbordador o el ATV europeo), una buena parte viene ocupada por el agua y la comida. En estos envíos, se mandan tanto los alimentos empaquetados de larga duración como mucha comida fresca, incluyendo frutas y verduras, que son la locura de los astronautas y que las reciben como si no hubieran visto un tomate en su vida. La mayoría de la comida actual de la NASA y las otras agencias llega termoestabilizada y lista para comer, en sobres herméticos de color verde similares a los usados en el Ejército. También es frecuente encontrar alimentos

irradiados y liofilizados, que vienen en bolsas transparentes, los cuales sí se tienen que hidratar con agua antes de comer. Por su parte, los rusos siguen llevando la mayor parte de su comida enlatada. Para subir al espacio, es obligatorio que todos los alimentos tengan una duración mínima de 18 meses, aunque en la práctica resistirían varios años. En los dos módulos de la Estación usados para comer (Unity en la parte americana y Zvezda en la parte rusa) hay una zona de almacenaje, donde cada astronauta tiene su maletín con la comida para las próximas semanas y con compartimentos para saber cuál le toca cada día. Al lado tienen una especie de mesa repleta de cintas de goma, velcros, adhesivos e imanes, donde pueden dejar las bolsas de comida, latas y los cubiertos para evitar que salgan volando por todo el módulo.

La astronauta Jessica Meir está comiendo en el módulo Unity de la ISS. A la derecha de la imagen tenemos en la parte de arriba dos pequeños refrigeradores para productos frescos y bebidas, al lado el dispensador de agua, justo debajo dos hornos para calentar los alimentos y más abajo las zonas donde dejan sus cubiertos adheridos. A la derecha de Jessica vemos paquetes de toallitas húmedas y debajo el contenedor de basura. A la izquierda vemos la mesa con algunas latas, paquetes de comida y hasta un *tupper*. Imagen: NASA.

En octubre de 2019, los astronautas Jessica Meir, Andrew Morgan, Christina Koch y Luca Parmitano abrieron una caja con fruta y verdura, con la misma ilusión que un niño se come una chuchería. Imagen: NASA.

Algunas curiosidades de la comida espacial

- La primera vez que se ingirió un alimento sólido en el espacio fue durante la misión Gemini 3, cuando el astronauta John Young subió a escondidas dos sándwiches de carne, que había comprado en una tienda de Cocoa Beach. Su sorprendido compañero Virgil Grissom no pudo terminar de comérselo, porque las migas se estaban dispersando por toda la cápsula.
- Si la cápsula Apolo hubiera sufrido algún fallo o accidente que hubiese provocado una despresurización, los astronautas tendrían que terminar su misión con el traje espacial puesto y por tanto no podrían comer ni beber nada en varios días. Como sistema de emergencia para evitar que murieran, los cascos llevaban en el cristal un dispositivo con rosca que se podía abrir y por el cual introducir los tubos con agua o comida. Por suerte nunca fue necesario su uso.
- A partir del Apolo 13, los astronautas llevaban en el traje un depósito de agua para poder beber durante sus paseos lunares. En el Apolo 15 se le puso además una pequeña barra de albaricoque deshidratado dentro del casco, para comer en los paseos más largos.
- La sal y la pimienta tal y como las conocemos están prohibidas en el espacio, porque los granos podrían salir flotando y estropear cualquier mecanismo de ventilación o la electrónica. Por este motivo la sal se presenta disuelta en agua y la pimienta disuelta en aceite, metidos en cuentagotas para poder inyectar el aliño dentro de las bolsas de comida.

- Durante la misión Apolo-Soyuz en 1975, la tripulación soviética y americana intercambiaron comidas durante los dos días de acoplamiento. El comandante Aleksei Leonov gastó una broma de bienvenida a los norteamericanos Thomas Stafford y Donald «Deke» Slayton. Al entregarles dos de sus tubos de comida como intercambio, les había quitado las etiquetas y les había puesto las pegatinas de dos famosas marcas de vodka ruso, aunque en realidad contenían *borscht* (un tipo de sopa agria de remolacha), para decepción de ambos.
- Puesto que en el espacio se suele perder algo el sentido del gusto, los astronautas suelen preferir la comida más condimentada y fuerte que cuando se encuentran en la Tierra.
- El pan tampoco es una comida bien vista en el espacio, ya que además de soltar muchas migas es muy difícil de recoger y se pone duro en poco tiempo. Por eso desde 1985, y gracias a que el astronauta mexicano Rodolfo Neri Vela llevó en la misión STS-61B unos sobres con tortitas, el pan fue sustituido y ahora las tortitas nunca faltan en la Estación Espacial, dado que sirven para acompañar y se pueden rellenar con muchas de las comidas una vez calentadas.
- La primera pizza llegó a la ISS en el año 2001, gracias a un acuerdo entre Roscosmos y Pizza

Hut, lo que permitió enviar algunos de sus productos en el siguiente vuelo de la nave Progress. Aunque llegó un poco fría, a los cosmonautas no les importó y no dejaron ni los bordes.

- En 2017 el astronauta italiano Paolo Nespoli comentó que echaba de menos las pizzas, y en la siguiente misión le enviaron los ingredientes por separado para que pudieran hacer una «fiesta de la pizza» en el espacio. Y por supuesto que la hicieron.
- Es habitual que muchas misiones de carga a la Estación lleven congeladores para que los astronautas pongan dentro muestras biológicas o los resultados de los experimentos que serán enviados de vuelta a la Tierra para su análisis. Para que no den un viaje vacíos, los congeladores suelen subir cargados con helados y otras comidas frías para que las disfruten el mismo día de la llegada de la nave, ya que no hay congelador en la ISS. Es el «día de ponerse hasta arriba de helados».
- Durante la Expedición 42, la astronauta Samantha Cristoforetti recibió un regalo de la Agencia Espacial Italiana: una cafetera *express* (marca Lavazzo), especialmente diseñada para funcionar en gravedad cero. ¿Y ahora qué, George? *What else?*
- A finales de 2019 se envió en la nave de carga Cygnus 12 un horno que funciona en gravedad cero, proporcionado por Doubletree Hotels, para comprobar si era fácil y cómodo hacer comida en el espacio. En Navidad, los astronautas Luca Parmitano y Christina Koch hicieron galletas para sus compañeros y enviaron algunas cajas de vuelta a la Tierra para que las probara el equipo de Control de Misión en Houston.
- También es habitual que los astronautas

franceses suban *delicatessen* y especialidades creadas por prestigiosos chefs de su país. Por nuestra parte, en su misión en el Transbordador Discovery, el astronauta español Pedro Duque se llevó quesos manchegos, quesos de Mahón y un chorizo de León. ¡Qué chef francés ni que rollos!

Durante la misión Apolo-Soyuz, el comandante soviético Aleksei Leonov gastó una broma a los norteamericanos Thomas Stafford y Donald «Deke» Slayton, al darles dos tubos de vodka que en realidad contenían sopa de remolacha. Yo, al ruso graciosillo, lo habría tirado por la compuerta más cercana. Imagen: NASA.

El espacio, un asunto de narices

Aunque con los años es un tema que ha mejorado mucho, es un hecho comentado por muchos astronautas que las estaciones espaciales van oliendo a rancio conforme pasan los años. Esto es normal, ya que debemos tener en cuenta que son espacios cerrados muy reducidos donde conviven personas durante años y que los filtros y conductos de aire tienen un límite. Y es que dentro de la ISS (o anteriormente de la MIR, la Salyut o la Skylab), los olores son un problema muy frecuente y que se toma muy en serio por parte de las agencias espaciales. Los propios módulos que conforman la estación están fabricados con materiales que son estudiados en profundidad y no solo para conocer su resistencia con el paso del tiempo, sino también para conocer el olor que producirán con el paso de los años. Es conocido que muchos materiales y plásticos se degradan con el tiempo y van soltando olores desagradables. Y si ese material pertenece a una estructura o a un módulo de experimentos que no se puede quitar, entonces tendremos un grave problema, puesto que no podemos abrir una ventana para que el mal olor se vaya. ¿Qué hacen las agencias para evitar en lo posible los malos olores?

Para evitar desagradables situaciones en el espacio, la NASA tiene un equipo formado por 20 personas que trabaja en el Laboratorio de Análisis y Desorción Molecular de White Sands. Su trabajo diario es el olor, pensar en el olor y olerlo todo. Y cuando digo todo, es absolutamente todo lo que sube al espacio, sea lo que sea. Cualquier objeto que vaya a volar a la ISS, ya sea un experimento, ropa, herramientas, objetos de higiene personal o la tinta de los papeles, debe ser olido. Todo es olfateado a fondo por un experimentado equipo, cuya labor es evitar que surjan estos futuros problemas en el espacio donde ya tendrían difícil solución. El más veterano de ellos es el especialista químico George Aldrich, que lleva trabajando en la NASA desde 1974 y ha realizado

cerca de 900 «misiones olfativas» desde la época de la estación Skylab hasta la actualidad. Para trabajar en ese selecto equipo la NASA debe certificar tu nariz, pasando rigurosas pruebas, exámenes y test de reconocimiento de olores, al igual que hacen muchas industrias del perfume. Son narices de oro. Para ello huelen todos los objetos que se lanzan al espacio y no solo recién fabricados, sino otros que pasan meses almacenados en condiciones similares a las de la ISS. En estas pruebas se imitan los tiempos y condiciones de almacenamiento, donde los olores se concentran en paquetes herméticamente cerrados durante meses y que algún día serán abiertos por los astronautas en busca de nueva ropa interior, comida o repuestos de experimentos. Y cada cuatro meses todos los técnicos vuelven a pasar de nuevo todas las pruebas, siendo descartados los que fumen, tengan alergias o problemas respiratorios. No hay piedad con los «nasalnautas».

El científico George Aldrich es la mejor nariz en la historia de la NASA y por su napia han pasado todos los productos que han volado al espacio en los últimos 50 años. Imagen: NASA.

Si en la Estación Espacial hay un olor extraño en el compartimento de restos orgánicos, el equipo llenará bolsas con restos de comida espacial, pañales usados y bolsas con vómitos para guardarlos en un compartimento similar de su laboratorio. Y durante 18 días irán oliendo para ver dónde está la fuga olorosa e

indicar a la NASA si alguna bolsa o caja debe ser rediseñada. Por cierto, los pañales son los que se usan en las caminatas espaciales en el exterior de la ISS, para realizar mantenimientos o instalar experimentos nuevos. Cada material nuevo se pone a prueba realizando valoraciones de su olor y cada pocos meses se vuelve a examinar para comprobar que no se vuelve pestilente. Además, se guardan en recipientes cerrados, se calientan a 50 °C y se analizan los vapores para comprobar que no son tóxicos. Una vez comprobada la seguridad de un producto, la directora del laboratorio, Susana Harper, selecciona 5 miembros del equipo, que vuelven a pasar un examen médico para comprobar el estado de la nariz y la garganta. Con el aprobado de salud, realizan un test con recipientes que contienen distintos olores como éter, vinagre y menta. Después se ponen una máscara donde inyectan los vapores de esos productos diluidos con algo de aire limpio y se concentran para ponerle una nota, donde el 0 indica que no perciben ningún olor y el 4 indica que les ha causado repugnancia. El jefe del equipo hace la nota media entre los cinco técnicos y si el resultado es un 2,5 o superior, ese objeto no podrá volar al espacio por muy seguro que sea. De hecho, en una ocasión la tinta de varios documentos técnicos les ocasionó ampollas en la nariz durante unas pruebas en el laboratorio y la NASA tuvo que cambiar el tipo de impresora que usaba para imprimir los documentos que enviaban a los astronautas.

¿A qué huele el espacio?

Sigamos con los olores. Muchos astronautas han hablado en sus biografías de los distintos olores que se perciben en el espacio. Otros astronautas hablan del olor en la superficie de la Luna e incluso del olor característico de una caminata espacial. Por suerte hasta el momento ninguno de ellos se ha quitado el casco para comprobar si esos olores son reales, ya que son los que han percibido cuando han vuelto al módulo lunar o a la escotilla de la Estación Espacial. Tras varias horas en el exterior de la ISS realizando su trabajo, vuelven a la esclusa de aire Quest y cierran la compuerta externa, llenan de aire su interior y se quitan los complejos trajes espaciales. En ese momento, muchos describen el olor como el de un motor sobrecalentado, una cerilla recién apagada o pan quemado. A pesar de que se han elaborado muchas teorías para explicarlo, como la que nos cuenta que puede deberse a la presencia de hidrocarburos aromáticos producidos en el origen del sistema solar, la respuesta parece ser más sencilla y estar mucho más cerca. Si observamos la manta térmica que recubre la entrada de Quest, veremos que tiene una apariencia un poco tostada, como si estuviera quemada por los bordes. Tengamos en cuenta que la ISS se encuentra a una altura de unos 420 km, donde la atmósfera es muy tenue y está formada en un 90 % por átomos de oxígeno individuales, al descomponerse sus moléculas por efecto de la luz ultravioleta del Sol. Este oxígeno atómico es mucho más reactivo y es el que se encarga de oxidar los materiales térmicos del exterior de las estaciones espaciales, que muestran esa apariencia de quemados, sobre todo en los bordes más expuestos al rozamiento atmosférico. Cuando entran en la esclusa y la cierran, algo del enrarecido aire con olor a manta térmica oxidada se cuela dentro y es lo que perciben al quitarse el traje.

En décadas anteriores, durante el programa Apolo, los astronautas que volvían de la superficie de la Luna

comentaban cosas similares tras introducirse en el módulo lunar, al regresar de sus caminatas. Harrison «Jack» Schmitt lo describe como olor a pólvora y Buzz Aldrin decía que era olor a carbón o cenizas rociadas con agua. Los investigadores creen que este aroma chamuscado procede del regolito lunar, ese polvo gris que cubre toda la superficie del satélite. Al entrar en el módulo lunar, las botas y el traje del astronauta estaban llenos de polvo del regolito y podía ser olido claramente en la cabina del módulo. Las investigaciones realizadas concluyen que las membranas mucosas de la nariz de los astronautas se activaban al reaccionar con los «enlaces colgantes» de las partículas de polvo lunar, que estaban compuestas en su mayor parte de oxígeno y que provocan ese olor tan característico. De hecho, se llegó a pensar que este polvo lunar podría ser muy reactivo y peligroso y que al entrar en contacto con el oxígeno de la cabina podría comenzar a arder, algo que pondría en peligro sus vidas. Por eso a la vuelta de su caminata lunar Armstrong y Aldrin colocaron un pequeño montón de polvo en el suelo y comenzaron a presurizar el módulo con aire. Si en algún momento notaban que el polvo se calentaba o comenzaba a humear, abrirían la escotilla para tirarlo fuera, pero finalmente no pasó nada, para alivio de todo el personal y del resto de astronautas del programa Apolo.

La puerta de salida al exterior del módulo Quest de la

Estación Espacial tiene una manta térmica que protege la puerta de cambios bruscos de temperatura y de la basura espacial. Se puede observar cómo la zona de los bordes se va «tostando», debido a los átomos de oxígeno de la atmósfera, lo que provoca un olor característico que perciben los astronautas cuando se quitan el traje. Imagen: NASA.

Dormir en el espacio puede ser una pesadilla

Dormir. Muchas veces es el mejor momento del día. Si has tenido una jornada movida o las cosas han ido mal, la sensación de irte a dormir y echarte en el colchón es algo que no tiene precio. Pero en el espacio tenemos un problema: no tenemos colchones. La verdad sea dicha, ni la cama ni el colchón sirven de nada en un lugar donde no tenemos gravedad con la que caernos encima. Así que a los viajeros espaciales solo les queda meterse en una especie de saco de dormir, que está atado a la pared (o al techo, o al suelo), y de esa manera no estarán flotando toda la noche por la nave. Si a esto le añadimos que a los 45 minutos de anochecer vuelve a amanecer, y a los 45 minutos vuelve a anochecer, la cosa no mejora. Hay que tener en cuenta que en el espacio tenemos 16 ciclos de noche-día cada día terrestre. Y si además durante la «noche» se mantiene encendida una parte de la iluminación y que el ruido de los ordenadores, los sistemas de ventilación y de los experimentos es constante las 24 horas, no es de extrañar que la mayoría opten por usar tapones para los oídos y gafas para dormir.

Maqueta de entrenamiento del Skylab en el Marshall Space Flight Center. Como el Skylab era una amplia

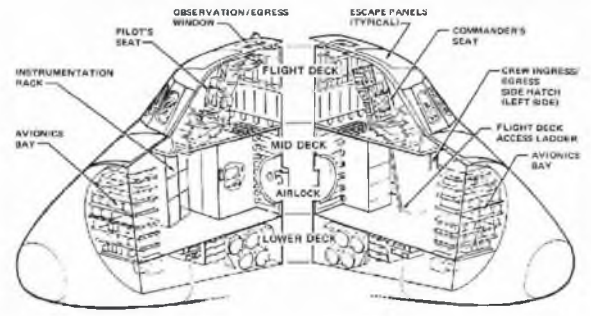
estación espacial, había espacio disponible para habilitar distintas zonas: experimentos (*experiments operation area*), comedor (*galley*), cuarto de baño (*waste management*) y dormitorios (*sleep compartment*) en la parte inferior. Imagen: NASA.

Y por otro lado nos encontramos con que en la mayoría de las naves espaciales no hay nada parecido a un dormitorio o un cuarto donde meternos. Tu nave es todo lo que tienes y allí dentro tendrás que desarrollar todas tus actividades diarias. En las pioneras misiones espaciales Mercury, algunas de las Gemini, así como las Vostok y Vosjod, el tiempo de vuelo era tan corto que no era necesario dormir, asunto resuelto. Sin embargo, conforme la duración de las misiones fue aumentando, se hizo necesario afrontar el problema del sueño y preparar las cápsulas y a los astronautas para que pudieran echar unas cabezaditas. Y por supuesto, también había que dormir si estabas en misiones de larga estancia en las estaciones espaciales Salyut, Skylab, Mir, Tiangong o en la Estación Espacial Internacional. Con diferencia, las que tenían (y tienen) peores condiciones para dormir son las pequeñas y antiguas cápsulas Gemini, o en las nuevas Dragon o Starliner, donde tu cama es tu propio asiento, pues no hay espacio para nada más. Te abrochas el cinturón para no flotar y a contar ovejitas espaciales. En las actuales naves Soyuz y Shenzhou se dispone de dos módulos habitables, por lo que los cosmonautas pueden dormir en el módulo orbital, donde tienen también el área de comedor y aseo. Las antiguas misiones Apolo también tenían una pequeña ventaja, ya que podían usar el módulo lunar anexo para estirar las piernas y dormir, aunque claro, a la vuelta de la Luna se tenían que conformar con el pequeño módulo de comando donde viajaban varios días los tres astronautas. Los primeros «dormitorios» individuales y relativamente amplios fueron los de la estación Skylab, donde tres compartimentos adjuntos permitían por primera vez que cada astronauta tuviera su propio espacio acotado, para descansar y

dejar sus enseres personales.

Y aunque la llegada del Transbordador Espacial fue un avance tecnológico, a pesar de su gran tamaño exterior era una nave no apta para claustrofóbicos, ya que la zona habitable del Shuttle estaba formada por tan solo dos pequeños compartimentos:

- El que estaba en la parte superior, llamado *flight deck*, que era la cabina de vuelo desde donde se controlaba la nave y que poseía las ventanillas que podemos ver en el Transbordador. En el lanzamiento normalmente iban cuatro astronautas en esta zona y por sus ventanillas traseras se podía ver la bahía de carga, así como controlar el brazo robótico.
- Y el que estaba en la parte inferior, llamado *mid deck*, que servía de zona de almacenamiento, baño, comedor y dormitorios, por tanto tenía que ser compartido por toda la tripulación de seis o siete astronautas para todas las actividades del día a día.



La parte delantera de un Shuttle abierta en canal. Se puede observar el *flight deck*, desde donde se controla la nave. A través de una apertura en el suelo se bajaba al *mid deck*, donde estaba el almacenaje de ropa, materiales y comida, la cocina y los «dormitorios». En el *mid deck* también estaba el *airlock* para salir a la bodega de carga, así como la compuerta para entrar y

salir de la nave. Imagen: NASA.

En esta imagen de la misión STS-107, el «suelo» queda a la derecha, arriba podemos ver el *airlock* para salir a la bodega de carga y abajo diversos materiales para la misión y unos pequeños paquetes con los cubiertos y utensilios para la comida de los astronautas. Estas literas adosadas no son aptas si tienes un poquito de claustrofobia. Imagen: NASA.

Disposición de los 4 dormitorios del módulo Harmony de la NASA. En la imagen podemos ver a los astronautas Ron Garan y Cady Coleman de la NASA, Paolo Nespoli de la ESA y Alexander Samokutyaev de Roscosmos, durante la Expedition 27. Imagen: NASA.

En la actual Estación Espacial, el espacio disponible para dormir es similar al de una de las antiguas cabinas de teléfonos, toda una *suite* de lujo en comparación con el resto de naves, si no contamos la Skylab. Existen dos zonas habilitadas para dormir en la Estación Espacial. La primera de ellas se encuentra a la entrada del módulo ruso Zvezda y está formada por dos compartimentos (uno enfrente del otro) que se pueden cerrar con puerta y que usan los cosmonautas rusos —y muy similar al que tenían en la Estación MIR—. La otra zona se encuentra en el módulo norteamericano Harmony (también llamado Nodo 2), formada por cuatro compartimentos adyacentes que se cierran con una mampara de tela aislante. Estos compartimentos están situados formando un anillo alrededor de Harmony, con uno en el suelo, otros dos en las paredes y el cuarto en el techo. Esto puede parecer extraño, pero tengamos en cuenta que en el espacio no hay ni arriba, ni abajo, por lo que realmente da igual dónde se encuentre el dormitorio. Todas las «habitaciones» están acolchadas con materiales aislantes, que dan una mayor intimidad y protegen al astronauta de la mayoría de los ruidos de la nave. La puerta se puede cerrar con una mampara corredera y en el interior se dispone de una pequeña zona de almacenamiento para la ropa que se usará en los siguientes días y para tus objetos personales. Además cuenta con una luz graduable y dos ordenadores junto a tu saco para dormir. Estos ordenadores permiten a los astronautas tener un poco de contacto con el mundo real, ya que a través de uno de ellos pueden recibir correo electrónico y realizar llamadas telefónicas a nuestro planeta, para hablar con familiares y amigos. El otro ordenador tiene un sistema de comunicaciones independiente de la ISS, que les permite acceder a Internet.

Como en ocasiones en la ISS hay más de 6 astronautas debido a la visita de otras naves o durante los intercambios de tripulación, muchos de ellos pueden dormir en otras zonas «comunes» de la

Estación. Los astronautas japoneses suelen usar su propio módulo Kibo para dormir con el saco atado en alguna zona libre de la pared y los europeos hacen lo mismo en su módulo Columbus. Asimismo, también es costumbre que en estas situaciones los comandantes de las naves atracadas Soyuz, Dragon o Starliner puedan dormir en su propia nave, dejando los compartimentos a los otros tripulantes, pero también disponiendo de una mayor intimidad y espacio durante el sueño.

Capítulo 10

La cosa. Historias de escatología e higiene espacial

A ver, seamos claros desde un principio. Los astronautas viven juntos, en un sitio muy pequeño, durante muchos días y sin posibilidad de ventilar las cápsulas abriendo una ventana. Y además, durante muchas horas están dentro de trajes espaciales, realizando paseos en el vacío o en la superficie de la Luna. Por tanto hay que hacer todo lo posible para que el cuerpo humano expulse la menor cantidad posible de gases y sólidos durante sus misiones, tanto por su bienestar como por el de sus acompañantes. Por eso, durante las semanas previas al lanzamiento, los astronautas suelen llevar una dieta blanda, baja en residuos y con alimentos que provoquen pocos gases. Y además, si antes de volar te haces una lavativa (lo que se conoce como un enema), consigues quitarte un problema para no tener que ir al baño durante varios días, con lo que ahorrarás tiempo y alguna que otra situación incómoda.

Ya en el vuelo, la alimentación se mantiene lo más baja posible en residuos y efectos secundarios gaseosos. Bueno, baja pero no nula. Durante la misión del Apolo 15, en el verano de 1971, los médicos de la misión siguieron muy de cerca los datos biométricos de los astronautas, ya que el piloto del módulo lunar James Irwin sufrió una arritmia cardiaca y el comandante Davis Scott también registró varias irregularidades cardiacas. A la vuelta, y tras analizar las muestras de sangre, se concluyó que todos estos problemas habían sido causados por una falta de potasio, debido al tipo de dieta blanda que llevaban en la misión. Por esta razón la siguiente tripulación del Apolo 16 debería beber grandes cantidades de zumos ricos en potasio como el de naranja, además de tomar pastillas de potasio en la dieta. Así que en abril de 1972 despegaba la Apolo 16, con John Young como comandante, Thomas K. Mattingly como piloto del módulo de comando y Charles Duke como piloto del módulo lunar. Y como invitado, un cargamento extra de zumitos de naranja y pastillas de potasio,

suficientes como para hundir de nuevo el Titanic. Tras cuatro días de vuelo, el módulo lunar Orion, con Duke y Young en su interior, aterrizaba en las Montañas de Descartes de la Luna. Después de un pequeño descanso para dormir, ambos astronautas realizaron su primera caminata lunar de siete horas de duración. Una vez de vuelta en el módulo Orion, se quitaron los trajes y conectaron con el Centro de Control para una pequeña reunión de intercambio de impresiones y para preparar las actividades del día siguiente. En un momento en el cual Young no se dio cuenta de que había un «micro caliente» (encendido), se pudo escuchar perfectamente en los altavoces del Centro de Control y en la sala de prensa abarrotada de periodistas la siguiente conversación procedente de la Luna:

> Young: Ya tengo los peos otra vez. Los tengo otra vez, Charlie. Y no sé qué demonios me los ha causado. Realmente no lo sé... Creo que son ácidos en el estómago. Creo que es eso.
> Duke: Probablemente sea eso.
> Young: (risas) Lo que quiero decir es que ¡no he comido tantos cítricos en 20 años! Y te diré una cosa, en otros 12 putos días no los volveré a comer nunca más. Y si me ofrecen complementar mi desayuno con potasio ¡voy a vomitar! (pausa). Me gusta alguna naranja ocasional. De verdad (risas). Pero me van a odiar si me entierran en naranjas.

Sorprendentemente, pasaron más de cuatro minutos antes de que el CAPCOM Tony England (el técnico encargado de hablar con los astronautas desde el Centro de Control) les avisara de que toda la conversación se había oído en el Centro de Control, en la sala de periodistas y, por tanto, en todos los Estados Unidos. Nunca unos gases habían sido tan famosos para sonrojo de Young. Algo que en cualquier otro lugar del mundo hubiera quedado como una simpática anécdota, llegó a formar bastante revuelo en parte de la sociedad y en la prensa norteamericana

de esos días, ya que se escandalizaron al oír cómo un astronauta había dicho «peo» y «putos» desde la Luna. Aunque sorprendentemente el más indignado de todo el país fue el gobernador de Florida, porque Young había achacado sus gases a las naranjas. Y como gran defensor de los productos cítricos de su Estado, remarcó en tono muy indignado que los astronautas no llevaban zumo de naranja, sino un sustituto artificial que provocaba los gases, pero que sus maravillosas naranjas eran inocentes. Así que aunque el gobernador no quisiera admitirlo, entre el zumo y las pastillas de potasio le provocaron unos gases astronómicos al pobre Young. Esperemos que al menos el sistema de ventilación del traje le funcionara bien. Aunque bien visto, siempre es mejor tener unos gasesitos en la Luna que un ataque al corazón.

¿Cómo hacen los astronautas sus necesidades? Houston, tenemos un zurullo

Ya te aviso de antemano que tal vez no tengas ninguna necesidad de saber todas estas cosas que te voy a contar, pero lo mismo tienes una cierta curiosidad por saber cómo se solventan estos temas tan delicados en el espacio. De hecho, a los astronautas este es siempre el tema que más veces les preguntan y el que menos veces responden. Como ya hemos comprobado, los astronautas son humanos, hombres y mujeres inteligentes y con mucho valor, que sin embargo tienen dos defectos: orinan y defecan. Por tanto las agencias espaciales siempre han tenido que buscar soluciones a esa manía humana de soltar todo lo que no necesita en su cuerpo. Las primeras misiones tripuladas como las Mercury americanas y el vuelo de la Vostok 1 de Yuri Gagarin fueron de corta duración, por lo que no se pensó en ningún sistema de «evacuación» y alivio. Simplemente porque no hacía ninguna falta. Está claro que eso fue un error y si no que se lo pregunten a Alan Shepard, que tuvo que hacérselo encima en su primer vuelo. Sin embargo, la duración de los viajes fue aumentando y tanto los americanos, con sus misiones Gemini, como los soviéticos, con las misiones Vostok y Voskhod, buscaron métodos eficaces para que llegado el momento del apretón no hubiera una tragedia mayor. Para capturar la orina, la NASA equipaba a sus astronautas con un sistema de retención muy similar a un condón y que estaba disponible en tres tallas diferentes. Este recipiente de látex se conectaba por el extremo inferior a un tubo y una válvula, que junto con una abrazadera y una bolsa al final completaban el sistema para capturar la orina. En vuelos cortos en los que no se quitaban el traje, todo el sistema iba incorporado por dentro, pero en misiones algo más largas había que montarlo en cada ocasión, por lo que no podías ir con muchas prisas. Además el sistema no era demasiado perfecto, por lo que las fugas de orina eran habituales, incluso con el traje puesto.

Demasiado macho-alfa suelto con una percepción equivocada de su talla tenían la culpa, como hemos visto.

Las misiones Gemini ya tenían una duración mayor y en su interior iban dos astronautas, por lo que el tema era más complejo y la intimidad completamente imposible en una cápsula tan diminuta en la que no había sitio ni para moverse. Estas misiones incorporaron por primera vez un sistema de defecación de «baja tecnología», consistente en una simple bolsa con adhesivo en sus bordes superiores y que muchos han definido como «un sombrero de copa con el ala pegajosa». La forma en la cual esa bolsa se pega al cuerpo humano es tal y como estás pensando, así que dejaré a tu imaginación funcionar. Cuando en la misión se sentía la necesidad de plantar el pino, el astronauta debía quitarse la parte inferior del traje, la ropa interior, coger esa bolsa y pegarla cerca de «Urano», para dejar que la naturaleza siguiera su curso. Una vez terminado y con mucho cuidado, procedía a despegarla y a apretar la parte superior de la bolsa con fuerza, para evitar que algún fragmento hiciera un viaje no deseado por la pequeña cápsula. Y todo eso sin olvidar de limpiarse a sí mismo una vez acabado el proceso. Después debía echarle un líquido germicida y, para continuar con el espectáculo, tenía que mezclarlo todo bien, amasándolo con las manos, sellarlo y meterlo en una caja que permanecería junto a ellos toda la misión.

Parte del «sistema de orina» de las primeras misiones espaciales. Imagen: NASA.

El germicida por lo menos conseguía que el material de su interior no oliera demasiado hasta que volviesen a casa, ya que no había manera de expulsar estas bolsas al exterior de esas primeras naves. Por cierto, el manual de la NASA no dice nada sobre la cara que debía de tener el compañero, sentado a pocos centímetros y siendo testigo de tan complicadas maniobras. Como dijeron los miembros de la misión

Apolo 7, que fueron de los primeros en probar este sistema: «Desnúdate, reserva una hora de tu tiempo y ten muchos pañuelos a mano». Para evitar muchas escenitas como esa, y dado el gran tiempo que necesitaban para tales tareas, los días previos a la misión su alimentación era baja en residuos sólidos. Además, horas antes de ir a la rampa de lanzamiento, los astronautas (incluidos los actuales) toman laxantes y se someten a una lavativa, lo que les permite estar más tiempo sin hacer sus necesidades. Lo sé, acabo de reventar toda la mística que rodea a los astronautas, pero es la pura realidad. Y para no tener que defecar muchas veces durante la misión, la comida en el espacio también era baja en residuos y, por si fuera poco, se les suministraban pastillas que reducían la motilidad intestinal. Todo sea por la causa.

Bolsa fecal del programa Apolo, junto al líquido germicida y algunas toallitas. Imagen: NASA.

Para las más largas y complejas misiones Apolo a la Luna, el sistema debía ser mucho más complejo, pero en realidad poco cambiaba el asunto de fondo. La gran ventaja de estas misiones es que al disponer la tripulación de dos módulos, el módulo de comando y el módulo lunar, el tripulante que quería hacer sus necesidades podía irse al módulo lunar para tener un poco de intimidad. Conocida es la anécdota ocurrida

durante la misión Apolo 10 que fue lanzada hacia la Luna el 18 de mayo de 1969, con el objetivo de ensayar el aterrizaje pero sin descender a la superficie. Y digo conocida porque como todas las conversaciones del programa Apolo fueron grabadas y transcritas de principio a final. Cuando la misión ya llevaba seis días de vuelo y procedían a volver hacia la Tierra, se escucharon en la Sala de Control estas inolvidables palabras del astronauta Tom Stafford, que para entrar en la historia le dijo a su compañero John Young: «Dame una servilleta, rápido, que hay una mierda flotando en el aire». A lo que Young respondió: «Yo no he sido, eso no es una de las mías». La exploración espacial en todo su esplendor, ¡vaya zasca, Paulo Coelho! Y los que bajaron después a la superficie lunar en el resto de misiones Apolo tampoco lo tuvieron más fácil, a pesar de disponer de amplias extensiones llenas de cráteres para dejar sus recuerdos. Como bajarse el pantalón del traje para plantar pinos lunares o pegarse bolsas en el culo no era una opción, los astronautas llevaban un complejo sistema que la NASA definía como «unos calzoncillos con varias capas de material absorbente que servían para contener cualquier excremento» o, como todos los conocemos, unos pañales grandes. Lo que sea necesario «para llegar donde ningún otro zurullo ha llegado jamás».

Un gran salto para la humanidad. El váter espacial

Finalizado el programa Apolo, la NASA construyó la Estación Espacial Skylab. Esta estación, al igual que las Salyut y la Mir soviéticas, debían incorporar unos sistemas más avanzados para gestionar los residuos humanos, ya que las tripulaciones pasarían largas temporadas dentro de ellas. La Skylab llevaba un sistema que difícilmente se le podía llamar «inodoro», pero que al menos ya permitía una cierta intimidad, al encontrarse en un compartimento separado del resto de la nave con una mampara y que hacía las funciones de cuarto de baño. El dispositivo para hacer las necesidades no estaba en el suelo, sino en una de las paredes, y por medio de una compuerta y unas bisagras se abría algo similar a un asiento. Una vez desplegado el «váter», en el agujero se le colocaba una bolsa de recolección y el astronauta debía colocarse sobre ella para ir depositando el material. Para evitar que ese material saliera volando por la nave, el dispositivo tenía en su interior un extractor que funcionaba de forma parecida a una aspiradora, de forma que todo quedaba atrapado dentro. Para facilitar el desarrollo de la tarea y para permanecer lo más estable posible durante la faena, en el suelo se encontraban dos anclajes para meter los pies. Además, si no era suficiente agarre, había un cinturón que te permitía quedarte atado al asiento. Si el astronauta solo iba a cambiar el agua al canario, podía usar otro par de anclajes adyacentes para llevar a cabo la tarea de pie. De esta manera usaba un sistema específico solo para la orina, consistente en un pequeño embudo unido a un tubo que también tenía un sistema de aspiración. Ni qué decir tiene que todo el sistema fue pensado para ser usado solo por hombres, ya que la NASA no tenía ninguna intención de enviar mujeres al espacio en estas misiones. Todo el material sólido, como las heces y los vómitos, se guardaba en bolsas selladas y secadas con calor al vacío. De esta manera podían ser almacenadas en el tanque general de desechos o serían enviadas de

vuelta a la Tierra para su análisis. La porción devuelta era analizada en los laboratorios, para comprobar cómo la gravedad afectaba al metabolismo humano, los músculos y la pérdida de líquidos en largas estancias. La orina se separaba por medio de una centrifugadora y algunas muestras se congelaban, para ser posteriormente analizadas junto con muestras de sangre obtenidas de forma periódica.

El váter de Skylab. En el suelo podemos ver los anclajes para los pies, los dos primeros para defecar y los otros dos más lejanos para hacer pis. El retrete se escondía tras el tirador que vemos en la parte derecha de la imagen. Imagen: NASA.

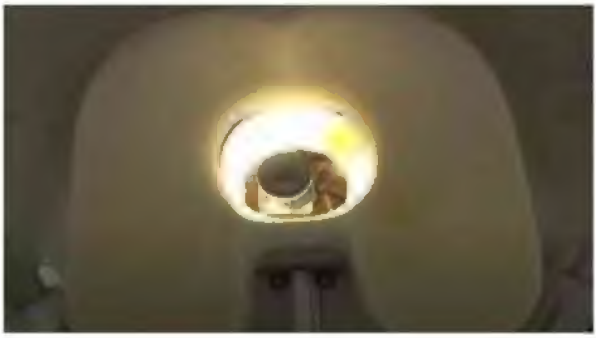
El resto de compartimentos del amplio «cuarto de baño» almacenaba productos de higiene de la nave y del personal como toallas, pañuelos, bolsas para los desechos, jabones y papel higiénico. Además, cada astronauta tenía sus propios cajones con sus cuchillas de afeitar, espuma, pasta de dientes, cepillos y cortauñas, entre otros utensilios.

En la década siguiente llegamos al Transbordador Espacial. Su sistema de recogida de restos orgánicos se llamaba WCS (Waste Collection System) y no era mucho mejor que el del Skylab, aunque fue el primero de la NASA pensado tanto para hombres como para mujeres. Se encontraba situado en la cubierta inferior (el *mid deck*), y dado el pequeño espacio habitable que había en la nave, la intimidad solo consistía en una pequeña mampara plegable que te tapaba mientras estabas con tu noble labor. El WCS es lo más parecido a un váter terrestre que puede haber en el espacio, y para poder usarlo correctamente se necesitaban varias horas de entrenamiento en un simulador en el Centro Espacial Johnson.

Váter (inodoro, retrete, taza...) de entrenamientos del Transbordador Espacial, idéntico al de vuelo. No había puerta pero acoplaban una pequeña mampara. Los astronautas debían anclar los pies al suelo y con ayuda de agarres para las manos (a los lados y en las paredes) ir bajando hasta llegar al agujero. Los mandos sirven para accionar el sistema de succión que evitaba que todo quedara flotando. Imagen: NASA.

Y no es broma, ya que no hablamos de saber cómo usar los botones para los sistemas de aspiración, sino de la puntería para usarlo. Hay que imaginar que llegado el momento crítico en el espacio, tenías que hacerlo prácticamente al lado de tus compañeros, tenías que bajarte el pantalón, anclar los pies en el suelo y sujetarte con unas pequeñas agarraderas

laterales. En ese crucial momento, y mientras seguías flotando, debías acercar tus posaderas a un pequeño agujero de 10 centímetros de diámetro en el asiento y alinear correctamente ambos agujeros justo en el centro, si no querías estar luego un buen rato limpiándolo. Para entender lo complejo de la situación, tienes que saber que la NASA tenía un simulador en el Johnson Space Center con una réplica del váter espacial. Como parte esencial de tu entrenamiento, tenías que pasar varias horas con los ensayos de las maniobras «de acoplamiento». Para ello, el agujero del váter tenía una cámara en su interior, de forma que podías practicar los movimientos necesarios para una buena transferencia de materiales. Gracias a la cámara, podías seguir en una pantalla justo enfrente del asiento todo el proceso, junto al resto del equipo de la misión y el personal del entrenamiento, claro. Ya en el espacio, el WCS estaba en una esquina del *mid deck*, donde estaban el resto de tripulantes con sus experimentos, comiendo o durmiendo. Y solo una pequeña mampara flexible te daba algo de intimidad visual, para la sonora imagino que pondrían algo de música de fondo.



El váter para entrenamientos del Johnson Space Center contaba con la poco discreta «CacaCam», que nos mostraba el camino correcto. Imagen: NASA.

Si viajas en una cápsula Soyuz y no puedes esperar a llegar a tu destino, puedes usar «esto» llamado ASU y que vemos en dos modelos. El embudito va por delante y el cuenco por detrás. Eso es diseño ergonómico y no lo que hacen los suecos. Imagen: Roscosmos.

Para la orina, se usa una manguera larga que tiene acoplado en el extremo una especie de embudo, por el que debía bajar el líquido hacia un sistema de extracción. Por supuesto, cada hombre y mujer astronauta tenía el suyo propio, que debía poner y quitar tras cada uso. Como el papel usado no podía tirarse por el agujero, justo al lado tenían un recipiente con una bolsita donde depositarlo y recogerlo todo al final. El astronauta Mike Massimino definió la postura perfecta para usar el retrete como «la que tenía Peter Fonda en *Easy Rider*», es decir, la postura que se adquiere al ir montado en una Harley-Davidson. Por su parte, la Estación MIR tenía un sistema muy parecido al del Transbordador. Las naves Soyuz (pasadas y actuales) tienen también su propio sistema de microretrete «portátil», que incorpora en un mismo dispositivo la evacuación líquida y la sólida, y que se encuentra para su uso en el módulo orbital de la nave.

Nuevo váter UWMS, instalado en 2020 en el módulo Tranquility de la ISS. Arriba a la derecha vemos el embudo para la orina, que dispone de un largo tubo para colocarlo donde sea necesario. Levantando la tapadera blanca tienes el agujero para depositar las heces, y a la izquierda de la imagen vemos los mandos generales para el sistema de ventilación y absorción. La pegatina pone: «Equipo del Retrete Orbital». Imagen: NASA.

Ese pequeño compartimento en la pared, que se ve en la parte superior derecha de la imagen, es el «retrete» que tienen en la cápsula Dragon, y está situado en un panel encima de la puerta de acceso. A la izquierda vemos a los astronautas sentados en la cápsula. Si te entra el apretón, debes sacar el cilindro y amarrarte con esas correas, teniendo como único elemento de privacidad una pequeña cortina que te envuelve. La situación en general de toda la cápsula en ese momento la dejo a tu imaginación. Imagen: Thomas Pesquet / ESA.

En la actualidad, la Estación Espacial tiene el lujo de contar con dos retretes, uno en el módulo ruso Zvezda y otro en el módulo norteamericano Tranquility, llamado Universal Waste Management System (UWMS). Este retrete sustituye desde 2020 a un modelo más antiguo, conocido como WHC (Waste and Hygiene Compartment), que era de procedencia rusa. Su funcionamiento es similar al de la MIR y el Transbordador, aunque sin asiento propiamente dicho, ya que se considera innecesario y no servía de apoyo. Este nuevo váter incorpora todas las peticiones hechas por los astronautas en los últimos 20 años: diseño más ergonómico, control de olores, activación del flujo de aire al levantar la tapadera y menos tareas de mantenimiento. El proceso es relativamente sencillo: levantas la tapadera, en el pequeño agujero de unos 10 cm se coloca una bolsa de recogida limpia,

anclas tus pies y manos y al lío. El sistema de extracción automático se encarga del resto, y todo lo que salga irá a parar al interior. Cuando terminas de limpiarte, dejas los papeles en el agujero y todo quedará cerrado y sellado en su interior. También es cortesía habitual que al terminar dejes puesto un plástico limpio para la siguiente persona que lo use. Cada 10 días aproximadamente es necesario sacar el contenedor que tiene los restos compactados y meter su contenido en una bolsa de desechos. Por otra parte, la orina de ambos retretes en la ISS no se desperdicia, ya que toda va a un contenedor especial donde se somete a un proceso de reciclado. Tras el proceso se obtiene agua pura que es destinada al consumo y para la generación de electricidad. En la actualidad se recicla hasta el 90 % del agua de la Estación Espacial, incluyendo la orina y el sudor. La idea es mejorar el sistema, para que permita obtener también el agua presente en el aire y en los desechos sólidos, lo que subiría su eficacia hasta el 98 %, algo imprescindible para misiones tripuladas a Marte.

Y ya en las nuevas cápsulas espaciales, sabemos que la Dragon de SpaceX tiene un pequeño sistema para emergencias que no puedan esperar unas horas hasta llegar a la ISS. Este precario sistema consiste en un pequeño cilindro que sale hacia afuera desde la pared para depositar las heces, un tubo para la orina, una correa para atarte y una cortina que te rodea, evitando que tus compañeros te vean aunque se encuentren a un metro de ti. Para las misiones más largas de la cápsula Orion de la NASA, la nave lleva un sistema de retrete UWMS similar al de la ISS, aunque con la única intimidad que pueda proporcionar una cortina, al igual que en la Dragon.

¿Cómo me ducho en el espacio?

La respuesta es muy sencilla: no te duchas. Nunca. Jamás. Ducharse es un lujo en el espacio por cuestiones de sitio, de peso y de gravedad. Sin mucho espacio disponible, con el agua como recurso de lujo y sin gravedad que haga descender el agua por nuestro cuerpo, la ducha no es algo que podamos hacer en el espacio. Cuando la misión espacial es breve, la higiene personal es algo que puede esperar unos días. Aun así, las primeras misiones dotaban a los astronautas de esponjas que podían humedecer un poco, con algo de jabón y una toalla. Pero en las misiones más largas en el Transbordador o en las Estaciones Espaciales, es necesario realizar actividades completas de higiene personal cada día, si no queremos que nuestros compañeros abran las ventanillas de la nave. El proceso suele consistir sobre todo en buscar un sitio con algo de intimidad, quitarte la ropa, coger una pequeña bolsa de agua y darte por todo el cuerpo con esponjas desechables o toallas húmedas impregnadas con un poco de gel. Para el pelo se suelen usar champús especiales que no necesitan agua, y una vez terminado te secas todo el cuerpo con una toalla. ¡Y te quedas como nuevo! En el Transbordador la intimidad era muy complicada ya que literalmente no había sitio para hacer todo este proceso, pero en la Estación Espacial la «zona de ducha» está en el módulo Tranquility, justo detrás de la pequeña cabina donde se encuentra el váter. Para ducharte solo tienes que poner algo en la entrada del módulo indicando que no se puede pasar, colocarte detrás de la cabina del váter y llevar a cabo la limpieza. En esa zona además hay velcros para que cada tripulante deje sus productos de higiene e incluso un espejo para peinarse. Por cierto, el espejo de los rusos es mucho más grande que el de los americanos.

Y aunque una ducha como en la Tierra no es posible, lo más parecido es lo que tenía la Estación Skylab de los Estados Unidos en los años setenta, donde podíamos encontrar su ducha de gravedad cero. A

pesar de su parecido, funcionaba de forma muy distinta a lo que estamos acostumbrados los privilegiados que vivimos en la Tierra. La «ducha» consistía en un pequeño compartimento plegable y cilíndrico de tela impermeable, con un anillo inferior anclado al suelo y con reposapiés para quedarse anclado. El anillo de la parte superior tenía una manguera flexible, con el cabezal por donde salia el agua. Dada la escasez del preciado líquido, antes de cada baño se llenaba un pequeño contenedor del techo con 3 litros de agua caliente y esa era toda la que se podía usar para la ducha. Después el astronauta se encerraba dentro para bañarse con un bote de jabón líquido y una esponja. Y dirás, ¿cómo caía el agua si no había gravedad? Pues efectivamente, el agua no caía. Primero, el astronauta se mojaba el cuerpo con el agua que salía de la manguera, cogiéndola con la esponja mientras flotaba en burbujas. Después de mojarse, se limpiaba el cuerpo con la esponja llena de jabón líquido, que también se quedaba flotando. Y al terminar se iba secando con una toalla, para quitarse lo mejor posible el jabón. Todos los restos del jabón y agua flotantes eran absorbidos por un sistema de drenaje, tipo aspiradora. Ya que todo el proceso les llevaba casi dos horas, la mayoría de astronautas lo probaban un par de veces y posteriormente optaban por usar esponjas humedecidas con jabón y toallas para ducharse en unos minutos.

Sin gravedad y con muy poca agua disponible, la ducha del Skylab ha sido lo más parecido a una ducha terrestre. En la imagen vemos a Charles «Pete» Conrad darse un baño durante la misión Skylab 2 en 1973. Imagen: NASA.

¿Y me puedo lavar los dientes en el espacio? Claro, al espacio te llevas tu cepillo y tu pasta de dientes, realizas el proceso como en tu casa, pero al terminar no tienes un lavabo donde enjuagarte la boca. Muchos astronautas optan por tragarse la pasta al finalizar y otros la escupen de la mejor manera posible en su toalla para desechar o en algunos pañuelos. ¿Y qué hago con la ropa sucia? Bueno, en el espacio tampoco hay lavadoras, así que la ropa es desechada. Cuando te pones ropa limpia, lo habitual es usar distinta ropa interior a diario, la camiseta o el polo durante dos días y el pantalón durante una semana. Cuando ya no la vas a usar más, la metes en unas bolsas que se encuentran en la zona de aseo. Una vez que estas bolsas de ropa sucia están llenas, se llevan junto al resto de desechos a algunas de las naves de carga acopladas a la ISS, que al finalizar su misión se separarán y acabarán desintegrándose en la atmósfera.

Capítulo 11

Y cuando decimos ahogado nos referimos con agua, no por falta de aire. Pues si parece una locura habría que preguntárselo a Luca Parmitano, que pasó uno de los peores momentos que se recuerdan en el espacio. Luca es coronel del Ejército del Aire italiano y astronauta de la Agencia Espacial Europea desde mayo de 2009. El 28 de mayo de 2013 fue enviado por primera vez al espacio en la nave rusa Soyuz TMA-09M, como parte de la Expedición 36/37 hacia la Estación Espacial Internacional y su misión se llamó Volare, en honor a la famosa canción italiana. El 9 de julio, Luca realizó su primera EVA (actividad extravehicular) y la primera que fue llevada a cabo por un italiano, para trabajar en tareas de mantenimiento de la ISS. Su segunda EVA tuvo lugar una semana después y Parmitano volvió a salir junto a su compañero Chris Cassidy. Para realizar sus tareas se dirigió a un módulo ruso de la Estación, donde trabajaría en el despliegue de varios cables nuevos de comunicaciones. Cuando llevaban poco más de media hora de trabajo, Luca comentó que un sensor de CO_2 no funcionaba y que había comenzado a notarse la nuca algo mojada, ya que parecía que había algo de agua dentro de su casco. Minutos después la cantidad de agua había aumentado considerablemente y las burbujas comenzaban a entrarle en los ojos, la nariz, los oídos y la boca, dificultando su trabajo y aumentando la posibilidad de quedarse sin visión o sin respiración. Tras hablar con su compañero y con el Centro de Control, se decidió que tenían que suspender las tareas y dirigirse lo más rápido posible al módulo Quest para volver a entrar en la ISS. En el camino de vuelta Cassidy se hizo cargo de las bolsas de herramientas y ayudó a Parmitano por el camino, puesto que en los últimos metros se quedó sin poder oír ni hablar y con los ojos llenos de agua. Sinceramente creo que esa debe ser una de las sensaciones más angustiosas que le pueden ocurrir a un astronauta, ver cómo el casco se va llenando de

agua y que no puedes hacer nada por evitarlo, ni te puedes quitar el casco o ayudarte con las manos para ver o respirar.

Momento en el que por fin le quitan el casco a Luca Parmitano, que mantuvo la calma en todo momento a pesar de estar casi sin respiración. Imagen: NASA.

Nada más entrar en Quest, su compañero Cassidy selló la compuerta exterior y pulsó el botón para que comenzara el proceso de presurización, durante el cual la cápsula se vuelve a llenar de aire para que puedan quitarse el traje y respirar. Este proceso dura unos 10 minutos y en circunstancias normales sirve de descanso a los astronautas, pero en ese instante Luca seguía viendo cómo el casco cada vez tenía más agua y nadie podía ayudarle. Mientras tanto sus compañeros, angustiados al otro lado de la ventanilla, preparaban toallas para secarlo y para recoger el máximo de agua posible, de forma que no se dispersara por todo el módulo y la Estación. Cuando sonó la señal que indicaba que la atmósfera ya era respirable, la astronauta Karen Nyberg y los cosmonautas Pavel Vinogradov y Fyodor Yurchikhin abrieron la compuerta que los separaba y se lanzaron a quitarle el casco para que pudiera respirar lo antes posible con normalidad.

Los astronautas revisaron el casco de Parmisano para averiguar qué había causado el problema con el agua. Imagen: NASA.

Una vez controlada la situación, sus compañeros y el Centro de Control lo felicitaron por haber mantenido en todo momento la calma, a pesar de que parecía que «llevaba una pecera en la cabeza». Según Luca, el agua tenía un curioso sabor y dentro del traje solo podía tener dos orígenes: o era del sistema que llevan en el traje para poder beber agua cuando lo necesitan y que contiene casi un litro de agua pura o era del sistema de refrigeración que recorre todo el traje, que está relleno con casi 4 litros de agua y un poco de yodo para evitar el crecimiento de las bacterias. Finalmente, y tras analizar el traje, se concluyó que la causa del problema había sido la obstrucción de un filtro de ventilación, lo que hizo que el agua del sistema de refrigeración se acumulara y rebosara algo más de un litro, hasta el momento en el que le quitaron el casco.

El 20 de julio de 2019 Luca volvió al espacio en la misión Soyuz MS-13, y como parte de la Expedición 60/61 realizó cuatro complejas y exitosas caminatas espaciales para reparar el instrumento Espectrómetro Magnético Alpha (AMS). El 13 de agosto también se convirtió en el primer DJ del espacio, ya que hizo una sesión de música electrónica que fue retransmitida en directo al festival BigCityBeats en Ibiza, al que asistieron 3000 personas. Desde luego se lo pasó mucho mejor que en su anterior vuelo.

Oficina de objetos perdidos en el espacio, ¿dígame?

A quién no se le ha perdido alguna vez por despiste un paraguas, un guante, una cámara de fotos, unos alicates o toda una caja de herramientas al completo. Pues en el espacio las cosas no son diferentes, y si al estrés provocado por encontrarse flotando en el vacío le sumamos todas las tareas que hay que realizar con un traje incómodo, pues creo que pasan demasiadas pocas cosas. El primer incidente conocido de una pérdida de objetos en el espacio lo protagonizó en 1965 el astronauta Ed White, que se encontraba realizando la primera actividad extravehicular (conocidas como EVA o paseo espacial) de la NASA durante la misión Gemini 4. Cuando llevaba unos minutos de paseo, en las imágenes se pudo observar cómo un guante salía de la nave y se perdía rápidamente flotando por el espacio. ¿Quedó Ed con un solo guante en sus manos? Por suerte no, ya que el guante procedía del interior de la pequeña cápsula espacial Gemini, que permaneció abierta durante una parte del paseo y que, por lo que se ve, no lo dejaron convenientemente amarrado. El año siguiente, y durante la misión Gemini 10, el mítico astronauta Michael Collins se encontraba realizando una EVA para recuperar un panel del cohete al que se acoplaron durante la misión y en ese momento se le desenganchó la cámara que llevaba. Por desgracia no pudo agarrarla y se perdió en el espacio, así que no pudo obtener las fotografías programadas durante ese paseo espacial.

Imagen obtenida durante la misión STS-88 en 1998 por el Transbordador Endeavour, en la que se aprecia la manta térmica que perdieron durante una EVA. Para algunos, la mejor prueba de la existencia de una nave extraterrestre. Para otros, la mejor prueba de que algunos podrían aprovechar mejor su tiempo libre que para inventarse chorradas. Imagen: NASA.

Bolsa de herramientas perdida en la misión STS-126. Imagen: NASA.

Ahora nos trasladamos a la misión STS-88 del Transbordador Espacial Endeavour de 1998, que fue la primera misión enviada a la Estación Espacial Internacional y que portaba el módulo Unity, el primer módulo de la NASA en el complejo. Durante el

primer paseo espacial, realizado por Jerry L. Ross y James H. Newman, procedieron a quitar varias mantas térmicas que cubrían el exterior de Unity. Mientras trabajaban con una de ellas se les escapó y quedó flotando en el espacio sin posibilidad de recuperación, pero al menos fue fotografiada por los astronautas para documentar el incidente. Esa foto se hizo posteriormente famosa, ya que fue la «prueba definitiva» que necesitaban los conspiranoicos que sostienen la loca teoría del satélite Black Knight («Caballero Negro»). Los que sostienen esa teoría afirman que eso que se ve en la imagen es la prueba de la existencia de un gigantesco satélite artificial extraterrestre que sobrevuela los polos de la Tierra desde hace al menos 13 000 años. La cantidad de cosas que se evitarían si la gente leyera un poco y tuviera menos tiempo libre.

Tras el accidente del Columbia en 2003, la NASA se tomó mucho más en serio la seguridad de sus tripulantes y en las primeras misiones tras la reanudación de los vuelos se ensayaron nuevas técnicas de reparación de las losetas térmicas, por si alguna quedaba dañada en el lanzamiento. En la misión STS-121 del verano de 2006, se llevó a cabo una caminata espacial hasta el escudo térmico del Transbordador para probar una nueva sustancia que sirviera como pegamento y aislante en la reentrada. El astronauta Piers Sellers se encontraba aplicando el nuevo material con una espátula, cuando le salió disparada y se perdió en el espacio. Tras informar a sus compañeros del incidente les dijo muy serio: «Por favor, no se lo digáis a las otras espátulas». Meses más tarde, el Transbordador Discovery despegó en su misión STS-116 para continuar la construcción de la Estación Espacial añadiendo nuevas estructuras. Durante el tercer paseo espacial de la misión, la astronauta Sunita Williams fue a enganchar una correa para asegurar la cámara que llevaba. En ese momento, y por motivos que se desconocen, la cámara se separó de su soporte y se perdió flotando en el

espacio, alejándose de la Estación y perdiendo las imágenes adquiridas durante la caminata espacial. En octubre de 2007, la misión STS-120 del Discovery partía de nuevo hacia la Estación Espacial, con el objetivo de acoplar el nuevo módulo Harmony y de reubicar algunos componentes de la ISS hacia su posición definitiva. Durante el cuarto paseo espacial de la misión, dedicado a la instalación y el arreglo de uno de los paneles solares (P6), unos alicates de punta fina se despegaron del portaherramientas del astronauta Scott Parazynski y se alejaron flotando, sin peligro para la Estación.

La astronauta Jessica Meir, recién elegida como candidata en 2013 con sus alas blancas y el dibujo del pin en el centro. Nacida en 1977, es además bióloga marina y fisióloga. Voló al espacio en septiembre de 2019 como parte de la Expedición 61 a la ISS y realizó

la primera caminata espacial femenina, junto a Christina Koch. Imagen: NASA.

En noviembre de 2008 despegaba hacia la Estación Espacial el Transbordador Endeavour en la misión STS-126, para llevar suministros y realizar varias reparaciones en la estructura de los paneles solares. En el quinto día de vuelo, los astronautas Stephen Bowen y Heidemarie Stefanyshyn-Piper salieron al exterior para una EVA. Transcurridas unas horas, Heidemarie notó que había mucha grasa en su bolsa de herramientas y mientras procedía a limpiarla con una toallita, ambos astronautas pudieron observar cómo se alejaba de ellos una bolsa de herramientas de 15 kg y que no había manera de recuperarla. Tras verificar que aún tenían herramientas de repuesto, pudieron continuar con su misión, pero nadie les quitó el disgusto de perder una bolsa de herramientas valorada en 100 000 dólares y que se quedó flotando unas semanas alrededor de nuestro planeta. La causa de esta pérdida nunca quedó clara, y tampoco se supo si se olvidaron de realizar el enganche de la bolsa o que el agarre se rompió, aunque todo apuntaba a un fallo humano. Como vemos, la pérdida de objetos en el espacio es algo relativamente frecuente, aunque por suerte ocurre en muy pocas EVA.

Las alas de los astronautas

Hay dos cosas en la vida que te dan alas: una bebida energética y subir al espacio. Lo primero está al alcance de todo el mundo, pero lo segundo está disponible solo para aquellas personas que logran ser astronautas (EE. UU. y el resto del mundo), cosmonautas (URSS, Rusia) o taikonautas (China). Hasta mediados de 2021 se habían lanzado al espacio unas 330 misiones tripuladas, que habían llevado a la órbita terrestre a 570 personas distintas de 40 nacionalidades diferentes. Cuando la NASA necesita astronautas, hace una convocatoria pública a la que se presentan miles de personas, de las cuales unas pocas son seleccionadas para realizar un entrenamiento y solo un puñado son las elegidas que logran superar todas las fases. Cuando eres elegido ya estás en la plantilla y recibes el título de «astronauta candidato», es decir, que estás preparado para volar, pero todavía no tienes misión asignada, ni has volado nunca al espacio. Además, recibes un pin plateado que puedes llevar en la solapa de tu ropa, y tus monos azules de entrenamiento llevan un emblema con unas alas blancas plateadas. Si alguien las lleva, es definitivamente un astronauta sin experiencia.

Cuando ya has realizado tu primera misión, te entregan un pin dorado y las alas de tus trajes pasan a ser también de ese color. En el caso de los militares la cosa se complica, puesto que cada cuerpo (Fuerzas Aéreas, Armada o Marines) tiene sus propias insignias, graduaciones y colores de fondo (rojo, azul, naranja...), que además van cambiando con el tiempo.

Pin de plata para los astronautas candidatos. Imagen: NASA.

El pin dorado significa que has logrado tu sueño de volar al espacio. Imagen: NASA.

En la antigua Unión Soviética y en la actual Rusia, los seleccionados son nombrados con el título honorífico de «piloto-cosmonauta». Además, todos reciben una medalla que muestra una estrella sobre Moscú, un par de órbitas con un satélite y una nave espacial, junto a las palabras «piloto», «cosmonauta» y «URSS» (o «Rusia», según la época). La distinción soviética la recibieron 72 cosmonautas con Yuri Gagarin a la cabeza y desde 1992 se entrega la distinción rusa, que ya portan 43 hombres y mujeres de aquel país.

La astronauta, capitana de la Marina, zoóloga y cirujana Laurel Clark, con sus alas doradas en la foto oficial antes de realizar su primer vuelo al espacio en el Columbia (STS-107) en el año 2003. Por desgracia sus seis compañeros y ella fallecieron en el regreso del Transbordador a la Tierra. Imagen: NASA.

Valentina Tereshkova, primera mujer en el espacio en 1963. También lleva la insignia en la chaqueta, entre muchas otras. Imagen: Roscosmos.

La insignia de piloto-cosmonauta de Rusia. Imagen: Roscosmos.

La ingeniera espacial y astronauta japonesa Naoko Yamazaki de la agencia JAXA, con una insignia sin alas. Voló al espacio en abril de 2010 en la misión STS-131 del Discovery. Actualmente los japoneses llevan una insignia con un ave fénix volando al Sol y otros llevan las alas doradas. Imagen: NASA.

El resto de astronautas de otras partes del mundo como Europa, Japón o Canadá suelen llevar insignias propias de su agencia espacial, logotipos, dibujos simbólicos o directamente las alas de la NASA si han sido instruidos allí. Si el personal es civil o vuela en misiones comerciales, también tienen otro tipo de insignias proporcionadas por la FAA (Federal Aviation Administration) y por lo que parece la cantidad y tipos de diferentes de insignias va en constante aumento.

Así que en 2021 ha surgido la insignia universal de astronauta como símbolo para todas las personas que hayan volado al espacio. Esta es una iniciativa de la ASE (Association of Space Explorers, una especie de sindicato de astronautas) realizada por su director, Andy Turnage, y el miembro Michael López-Alegría. El diseño no fue sencillo, ya que debería representar a personas de todas las culturas y que sirviera tanto para vuelos orbitales como suborbitales. Así que al final se optó por un diseño sencillo, con dos líneas curvas que representan el ascenso y del descenso al espacio, unidos por una estrella, así como un círculo exterior para las insignias de los vuelos orbitales. El primer pin ya ha estado en el espacio y lo ha llevado el astronauta japonés Soichi Noguchi en su misión en la Estación Espacial entre 2020 y 2021, como parte de la Expedición 64/65. Tras regresar a la Tierra, el pin fue entregado a la familia de Yuri Gagarin.

Los nuevos pines que se entregarán a todas las personas que lleguen al espacio tanto en vuelos suborbitales como orbitales. Imagen: ASE.

Historias de turistas en el espacio

Los humanos somos una plaga. A veces nos vamos a otros lugares para pasar unos días sin trabajar, acarreando una cámara colgada al cuello para sacar fotos sin parar por todas partes. ¿En el espacio también? En el espacio también. La única diferencia apreciable entre un turista terrestre y uno espacial es que los que suben al espacio no van en bañador, sandalias y con calcetines blancos, al menos de momento. Y es que el nombre de turista espacial lleva a pensar en eso, en personas que van de viaje de placer, a hacer poco y a molestar en muchas ocasiones a los profesionales. Aunque hay un poco de verdad en todo eso, lo cierto es que suelen llevar una preparación más que aceptable, una lista de tareas para tenerlos ocupados en todo momento y con poco tiempo para tomar mojitos. Así que las empresas que promueven estos viajes prefieren llamarlos «astronautas privados», «participantes en el vuelo espacial» o últimamente se refieren a ellos como «astronautas comerciales». Cuando sus vuelos los llevan solo durante unos minutos al espacio son «turistas suborbitales», y cuando llegan al espacio para pasar varios días alrededor de nuestro planeta en una Estación Espacial o una nave son «turistas orbitales», siendo estos últimos vuelos los más caros y deseados. La promesa del turismo espacial lleva varias décadas sobre la mesa y siempre hay constantes anuncios de iniciativas de empresas que llevarán a la gente al espacio por precios relativamente bajos (todo lo bajos que pueden ser en una actividad carísima como lo es la espacial), ya sea en cortos vuelos suborbitales o en viajes a la ISS, o incluso a la Luna. Y cómo no, cada tres o cuatro años sale el anuncio de una empresa que quiere construir un hotel en el espacio, pero sin tener ni cohetes, ni cápsulas, ni medios para construir unos módulos que valen muchos miles de millones de euros.

La empresa pionera en estas experiencias fue Space Adventures, una empresa norteamericana que

compraba los «asientos libres» que quedaban en las misiones Soyuz hacia la Estación Espacial, por unos 20-35 millones de dólares cada uno. Por tanto, los únicos posibles turistas eran personas multimillonarias que podían permitirse un desembolso de ese astronómico tamaño.

Dennis Tito tras aterrizar en Kazajistán y con cara de haberlo pasado muy bien. Imagen: Roscosmos.

El primero en entrar en la historia fue Dennis Tito, que el 28 de octubre de 2001 volaba hacia el espacio en la misión Soyuz TM-32 (Expedición 2 o ISS EP-1), a pesar de la oposición inicial de la NASA, para llegar a una Estación Espacial Internacional que estaba todavía en sus primeras fases de construcción. Tras ocho días en el espacio, volvió a casa en la nave Soyuz TM-31. Tras ese vuelo llegaron los de Mark Shuttleworth y Gregory Olsen en 2002, Anousheh Ansari en 2006, Charles Simonyi en 2007, Richard Garriot en 2008, de nuevo Charles Simonyi en 2009 y Guy Laliberté en ese mismo año. Todos volaron en una nave Soyuz para pasar 10 días en la ISS y dejaron unos ingresos estimados en 240 millones de dólares para Roscosmos y Space Adventures. A partir de 2010, la Estación Espacial aumentó su tamaño y en 2011 el Transbordador Espacial dejó de volar, por lo que ese tercer asiento libre tendría que ser ocupado por un astronauta profesional estadounidense, que por supuesto también era pagado por la NASA a Roscosmos. El turismo espacial se apagó tras una

corta vida.

Mientras tanto, algunas empresas privadas han intentado construir sus propios «aviones-cohete» que les permitieran llegar de forma independiente al espacio para realizar vuelos suborbitales. La idea de esos vuelos es encender el motor durante unos minutos para adquirir una alta velocidad. Tras apagarse a unos 50 o 60 km de altura, la nave sigue ascendiendo hasta llegar al espacio, sobrepasando la línea de Karman o al menos cruzando la línea de los 80 km que te nombra astronauta en los EE. UU. Una vez en el espacio, los participantes estarán unos minutos sin gravedad, hasta que la nave vuelve a caer para aterrizar en la pista desde la que despegaron.

La nave SpaceShipOne en su vuelo de prueba 15P. Imagen: SpaceShipOne Flight 15P Photo D Ramey Logan.jpg, de Wikimedia Commons, por D. Ramey Logan, CC-BY-SA 3.0.

La primera nave en lograr esta proeza fue la SpaceShipOne de la compañía Scaled Composites, que el 21 de junio de 2004 logró llegar hasta los 100,1 km de altura, con Mike Melvill a los mandos. De esa manera se convirtieron en la primera empresa privada que enviaba una persona al espacio, aunque fuera durante unos segundos. Ese mismo año, se produjeron dos vuelos más a cargo de Mike Melvill y Brian Binnie, tras los cuales se jubiló la nave para dar paso a la más ambiciosa SpaceShipTwo. Esta nave fue presentada en 2009 con el nombre de VSS Enterprise y pretendía

formar una flota que en pocos años enviaría de forma frecuente y económica a muchas personas al espacio. Por supuesto esto nunca ocurrió, ya que al ser una nave con el doble de tamaño y con capacidad para dos pilotos y seis pasajeros, las dificultades técnicas fueron mayores de lo esperado y los planes se atrasaban año tras año. Tras más de 40 vuelos de prueba con numerosos problemas, el 31 de octubre de 2014 la nave VSS Enterprise se estrelló al fallar uno de sus sistemas de descenso. En el accidente falleció el copiloto Michael Alsbury, provocando la paralización total del proyecto y casi su desaparición. Tras dos años de trabajo, una gran remodelación y un traspaso del proyecto a Virgin Galactic, se presentaba una nueva SpaceShipTwo llamada VSS Unity. En 2021 esta nave llegó a los 19 vuelos de prueba, alcanzando una altura máxima de 82 y 90 km en dos de ellos y por tanto sobrepasando el límite del espacio, según la definición en Estados Unidos, pero sin llegar a los 100 km aceptados internacionalmente. En abril de 2021 se presentó al público la SpaceShip III, llamada VSS Imagine, y comenzó sus primeros vuelos de prueba a finales de ese mismo año. A pesar de todos los esfuerzos, queda claro que llevar a personas al borde del espacio no es algo sencillo y todavía queda un tiempo para que se considere rutinario.

Ha llegado el *boom* del turismo espacial

Con este panorama llegamos a mediados de 2021, con el marcador del turismo suborbital a cero y con el marcador del turismo orbital indicando que 8 personas han subido al espacio, pero pagando muchos millones de dólares. Sin embargo, 2021 y 2022 se recordarán como los años que marcaron la explosión del turismo espacial, con una amplia variedad de opciones disponibles que no eran imaginables hace unos pocos años. Por un lado tenemos a Virgin Galactic, que con sus SpaceShip II y III parece lista para comenzar sus primeros vuelos con pasajeros. Tanto es así que el propietario de la empresa, el multimillonario Richard Branson, subió en uno de ellos el 11 de julio de 2021. Si la nave SpaceShip III progresa bien, es posible que para el 2025 en adelante se comercialicen sus vuelos a un precio de «tan solo» algunos cientos de miles de dólares y por tanto solo al alcance de unos pocos.

Por otro lado, tenemos también los vuelos suborbitales de la empresa Blue Origin, propiedad de Jeff Bezos, magnate y dueño de Amazon.

Para realizar estos viajes, la compañía ha construido un nuevo cohete suborbital llamado New Shepard (Alan Shepard fue el primer astronauta norteamericano que realizó un vuelo suborbital), que ha realizado entre abril de 2015 y abril de 2021 un total de 15 vuelos de prueba, alcanzando alturas superiores a los 100 km. Estos pequeños cohetes realizan un encendido de su motor durante 110 segundos y se apagan cuando llegan a una altura de 40 kilómetros, momento en el cual se separa la cápsula con los pasajeros. Esto deja a la cápsula con una alta velocidad y la inercia les permite sobrepasar el límite de Karman, donde disfrutarán de unos minutos en microgravedad. Unos instantes después, comenzarán un rápido descenso de varios minutos, que terminará con el aterrizaje de la cápsula en paracaídas. Por su parte, el cohete realiza también un descenso en caída libre y, tras encender su motor, aterrizará de pie a

poca distancia de la torre de lanzamiento. En mayo de 2021, la compañía Blue Origin ya puso a la venta los primeros billetes para sus vuelos, que comenzaron de manera regular ese mismo año. Para el primer vuelo, que tuvo lugar el 20 de julio de 2021, la empresa puso en marcha un sistema de subastas, de forma que los seis asientos serían ocupados por las personas que más dinero pusieran en la puja. Con este método se llegó hasta los 28 millones de dólares para el asiento más caro y la recaudación será donada a la Fundación Blue Origin para la educación infantil. A mediados de junio, Jeff Bezos anunció que volaría en esa primera misión y que sería acompañado por su hermano Mark, cuyo sueño desde pequeño era volar al espacio.

Por si fuera poco, también tenemos el renacer del vuelo turístico orbital de la mano de (cómo no) SpaceX y su cápsula Crew Dragon, que ya realiza vuelos tripulados con astronautas de la NASA hacia la Estación Espacial. Para obtener nuevos ingresos, la compañía de Elon Musk firmó un acuerdo con la empresa Shift4 Payments para enviar una cápsula tripulada al espacio en septiembre de 2021, llevando a cuatro «ciudadanos privados». Uno de ellos es Jared Isaacman, fundador de la empresa Shift4 y piloto, que paga todo el viaje con un fin benéfico. La idea es ayudar en la recaudación de fondos para el Hospital St. Jude de Memphis, especializado en la investigación del cáncer infantil, con una campaña para obtener 200 millones de dólares, a los que él añadirá otros 100 millones más. La misión lleva el nombre de Inspiration 4, y llevará a sus pasajeros en un vuelo de tres días por el espacio. Otro asiento es para Hayley Arceneaux, que siendo niña sufrió un cáncer de huesos y fue tratada en el Hospital St. Jude. En la actualidad trabaja allí y fue bautizada como Hope («Esperanza») para la misión. El tercer asiento es para Chistopher Sembroski, que es donante del hospital, fue elegido en un sorteo al azar y fue bautizado como Generosity («Generosidad») para el vuelo. Por último tenemos a Sian Proctor, una mujer emprendedora,

elegida como ganadora de un concurso de personas inspiradoras y bautizada como Prosperity («Prosperidad») para la misión. El promotor y benefactor, Jared Isaacman, fue bautizado como Leadership («Liderazgo»), que para algo pone la pasta.

También a finales de 2021, la Agencia Espacial Rusa Roscosmos volvió a reanudar sus vuelos privados hacia la Estación Espacial, con la misión Soyuz MS-19 lanzada en octubre de ese año. En ese vuelo, además del cosmonauta Anton Shkaplerov, volaron al espacio la actriz rusa Yulia Peresild y el director de cine Klim Shipenko (fue el director de la película *Salyut-7*), para rodar algunas escenas de la película *Desafío*. Y en diciembre, en cooperación con la empresa Space Adventures, le tocó el turno a la Soyuz MS-20, con dos asientos de pago que acompañarán al cosmonauta Alexander Misurkin. Uno de los asientos será ocupado por el multimillonario japonés Yusaku Maezawa y el otro por el asistente Yozo Hirano, con el objetivo de pasar 12 días en el espacio y vivir en la Estación Espacial. Para los siguientes años también se esperan nuevos vuelos de Space Adventures con las naves Crew Dragon de SpaceX, así como otras misiones utilizando la cápsula Starliner de Boeing, en vuelos hasta la ISS.

Por si fuera poco, debemos incorporar otro proyecto privado que tiene como objetivo enviar más turistas al espacio. La empresa norteamericana Axiom Space ha llegado a un acuerdo con la NASA para enviar dos tripulaciones privadas cada año, con tres pasajeros y un comandante cada una. El comandante será un miembro de la propia empresa y por lo general será un ex astronauta profesional de la NASA. La primera misión, llamada Axiom-1, voló en la cápsula Resilience en enero de 2022 y su comandante fue Michael López-Alegría (veterano astronauta hispano-norteamericano de la NASA), junto con los empresarios Larry Connor, Mark Patty y Eytan Stibbe, que han pagado 55 millones de dólares cada uno por su asiento y para pasar 8 días en la Estación Espacial Internacional.

Originalmente Axiom había planeado subir a la ISS con el director de cine Doug Liman y el actor Tom Cruise, para rodar numerosas escenas de una película. De momento el proyecto ha sido aplazado un par de años, así que no descarten ver al cienciólogo en una futura misión espacial real. Y si los planes de Axiom van bien, a partir del 2024 la compañía comenzará a acoplar nuevos módulos privados a la ISS, formando un nuevo anexo de residencia y laboratorios, que podrán ser usados por los visitantes privados y los astronautas que se encuentren en ese momento en el complejo orbital.

Los tres módulos comerciales de Axiom que serán acoplados a la Estación Espacial Internacional y que aumentarán la zona habitable y de laboratorios. Imagen: Axiom Space.

Algo más complicado, y por tanto a más largo plazo, tenemos el proyecto de Space Adventures para enviar dos turistas y un cosmonauta en un viaje de ida y vuelta alrededor de la Luna. Para ello serán lanzados en una cápsula Soyuz a la ISS, donde permanecerán diez días. Allí quedarán a la espera de la llegada de un módulo lunar, al que se subirán para emprender un viaje hacia nuestro satélite para rodearlo y volver de nuevo hasta la Tierra. El precio no se ha hecho público, pero será al menos el doble o el triple que un vuelo «normal» hasta la Estación Espacial. ¿Hacemos ya un *crowfunding* para mi billete?

A esta fiebre lunar se suma (¡cómo no!) SpaceX con su proyecto dearMoon, con el cual se pretende enviar en la nave Starship a once personas alrededor de la Luna a partir de 2024. El vuelo ya ha sido pagado en su totalidad por el artista y multimillonario japonés Yusaku Maezawa (el mismo de la Soyuz MS-19), y su idea es que junto a él vuelen 8 personas más y dos tripulantes. Para ello despegarán de la Tierra usando la StarShip, volarán hasta la Luna para rodearla y volverán para aterrizar en el complejo de lanzamiento que SpaceX tiene en Texas, unos seis días más tarde. Este proyecto saltó a la fama en 2021, al anunciarse que las otras personas volarían gratis acompañando a Maezawa. La idea del japonés es que esta «experiencia conjunta de vuelo espacial sirva para que se inspiren durante la misión y puedan crear algo nuevo en el arte, así como inspirar la paz en el mundo». Así, tal cual, y sea lo que sea lo que eso signifique. Y como eslogan promocional, el proyecto dice: «Si Pablo Picasso hubiera sido capaz de ver la Luna de cerca, ¿qué clase de pinturas habría dibujado? Si John Lennon hubiera visto la curvatura de la Tierra, ¿qué clase de canciones habría escrito?». A lo que yo añado: «Si yo tuviera dinero de sobra para viajar al espacio, ¿necesitaría una excusa para subir allí arriba?». Pues eso, cómo es a veces el *marketing*. Frasecitas aparte, cuando se anunció el proyecto la StarShip era todavía un prototipo experimental y aún le quedaba un largo recorrido para ser un cohete probado, seguro y que al menos hubiera volado una vez alrededor de la Luna sin tripulación, aunque todo es posible viniendo de SpaceX.

La carrera espacial también ha sido sexista y racista

Vivimos en un mundo sexista y racista. En el mundo se han dado muchos pasos positivos para superar esta situación, pero la realidad es que seguimos siendo sexistas y racistas como sociedad. Y la carrera espacial no iba a quedar al margen de esta situación: hasta mediados del año 2021 habían volado al espacio un total de 569 personas, de 41 nacionalidades diferentes. De ese total tan solo 65 han sido mujeres, representando el 11,4 %, así que algo está fallando. De esas 65 mujeres astronautas, 50 son de los Estados Unidos, 4 de la Unión Soviética/Rusia, 2 de Canadá, China y Japón y 1 de Corea del Sur, Francia, Italia y Reino Unido. De todos estos datos, tal vez lo que más sorprenda es la poca cantidad de mujeres cosmonautas en una potencia como es Rusia (junto con la antigua Unión Soviética). Este país fue pionero en el vuelo tripulado femenino, al lanzar en junio de 1963 a la hoy mítica Valentina Tereshkova de tan solo 26 años de edad, en la misión Vostok 6, que estuvo casi tres días en el espacio. Sin embargo, el mundo no vio a otra mujer en el espacio en los siguientes 22 años, ya que hasta 1982 no se lanzó la misión Salyut 7 que incluía en su tripulación a Svetlana Savitskaya. Esta cosmonauta repitió viaje en 1984, convirtiéndose en la primera mujer que voló en dos ocasiones en una nave espacial.

Mientras tanto, en los Estados Unidos ninguna mujer fue elegida como astronauta en cada uno de los 7 primeros procesos de selección y no era precisamente por la falta de aspirantes preparadas. Durante los programas Mercury, Gemini, Apolo y Skylab, la NASA no tenía a ninguna mujer en el cuerpo de astronautas.

Valentina Tereshkova, la primera mujer cosmonauta de la historia y que voló al espacio en la nave Vostok-6 en 1963. Imagen: archivos NASA.

No fue hasta 1978, en los inicios del programa del Transbordador Espacial, cuando Estados Unidos seleccionó a Sally Ride como astronauta. Su primer vuelo fue como miembro de la tripulación de la misión STS-7 del Challenger, en junio de 1983, cuando habían pasado 22 años desde el primer vuelo tripulado por humanos y 20 años desde el vuelo de Tereshkova. Desde ese momento, la NASA comenzó a ponerse las pilas y seleccionó cada vez a un número mayor de mujeres. Aunque todavía queda mucho por hacer, poco a poco se está logrando la paridad en el espacio. En sus más de 60 años de historia, la NASA ha seleccionado a un total de 339 astronautas, de los cuales 58 eran mujeres, el 17,1 % del total. En 2011 el proceso de selección de nuevos astronautas del denominado Grupo 20 (The Chumps) nombró a 9 nuevos viajeros espaciales, de los cuales 3 eran mujeres, representando el 33,3 % del grupo. En 2013, el siguiente proceso de selección de astronautas llamado Grupo 21 (The 8-Balls) terminó con 8 nuevos miembros, siendo hasta la fecha el único proceso selectivo con la misma cantidad de hombres que de mujeres. Ya en 2017, el Grupo 22 de astronautas de la NASA (The Turtles) fue formado por 8 astronautas, de los cuales 7 fueron hombres y 5 mujeres, representando un 41,6 % del proceso selectivo.

Sally Ride, la primera astronauta de la NASA que voló al espacio en 1983, en la misión STS-7 del Challenger. Imagen: NASA.

En 2021, la NASA tenía un total de 48 astronautas en activo y listos para volar, de los cuales 32 eran hombres y 16 mujeres, un 33,3 % del total. Como vemos, el progreso ha sido claro pero insuficiente en los últimos años. Esperemos ver pronto selecciones de astronautas en las cuales a veces sean las mujeres mayoría y en otras ocasiones los hombres, en función de la valía de sus aspirantes y sin favorecer por defecto la formación de tripulaciones mayoritariamente masculinas.

Respecto a Rusia, el panorama es más desolador, puesto que de sus 72 cosmonautas de la era soviética solo 6 eran mujeres, de las cuales solo Tereshkova y Savitskaya llegaron a volar alguna vez. En la época rusa, el total de cosmonautas seleccionados asciende a 49, de los cuales solo 4 son mujeres. La cosmonauta Yelena Kondakova voló en 1994, diez años después del segundo vuelo de Savitskaya. La cosmonauta Yelena Serova voló como parte de la Expedición 41 en 2014, veinte años después del vuelo de Kondakova, y se convirtió en la primera mujer rusa en visitar la Estación Espacial. Por desgracia la cosmonauta Nadezhda Kuzhelnaya nunca llegó a volar, ya que a pesar de tener asiento en la Soyuz TM-32 de 2001 fue sustituida por el turista espacial Dennis Tito, que pagó 20 millones de dólares por el asiento. Por último

tenemos a la cosmonauta Anna Kikina, que es la única actualmente en activo y que todavía no ha volado. Tiene previsto viajar a la ISS en el otoño de 2022, si no le quita el asiento otro turista. Respecto al turismo espacial, en los próximos años numerosos hombres y mujeres podrán viajar al espacio, previo paso por caja. Así que esperemos que al menos la iniciativa privada sea de aquí en adelante más paritaria que las agencias espaciales. Hasta mediados de 2021, de los 7 turistas espaciales que han volado al espacio, tan solo una era mujer, la multimillonaria iraní Anousheh Ansari.

Y desde luego los europeos no nos quedamos atrás, ya que de los 49 astronautas seleccionados por los distintos países europeos y por la Agencia Espacial Europea (ESA) tan solo 3 son mujeres. La primera astronauta europea fue Helen Sharman, del Reino Unido, que voló en 1991 en la misión Soyuz TM-12 hacia la Estación MIR. Helen fue seguida por la astronauta francesa Claudie André-Deshays Haignere, que voló en 1996 en la misión Soyuz TM-24 hacia la MIR y por segunda vez en 2001, en la misión Soyuz TM-33 hacia la ISS. La tercera y última astronauta europea es la italiana Samantha Cristoforetti, que en 2014 voló en la misión Soyuz TMA-15M con la Expedición 42 hacia la Estación Espacial Internacional. Samantha sigue activa en la actualidad y formará parte de la Expedición 67/68 en la primavera de 2022, volando como tripulante de la misión SpaceX Crew-4, para pasar a ser la comandante de la Estación Espacial.

Helen Sharman, primera mujer europea en el espacio, en una misión a la Estación MIR en 1991. Imagen: Roscosmos.

Otro dato a destacar es que tan solo 3 mujeres han sido las primeras astronautas en volar antes que un hombre de sus respectivos países: Helen Sharman, del Reino Unido, en 1991; Anousheh Ansari, de Irán, en 2006; y Yi So-yeon, de Corea del Sur, en 2008. Y por desgracia han fallecido 4 mujeres astronautas durante el transcurso de sus misiones espaciales, todas de la NASA: Judith Resnik y Christa McAuliffe en el Transbordador Challenger (misión STS-51L de 1986), y Kalpana Chawla junto con Laurel Clark en el Transbordador Columbia (misión STS-107 de 2003). Esperemos que el ejemplo de estas 65 mujeres de todo el mundo sirva de inspiración a muchas niñas y jóvenes para que se aventuren a ser las protagonistas de la carrera espacial del futuro.

Y siguiendo con las discriminaciones, la lista de hombres y mujeres afroamericanos que han volado al espacio tampoco es muy extensa, ya que tan solo se han seleccionado a 21 como astronautas, de los cuales

15 han llegado a volar en el espacio, otros 4 no llegaron a volar en una misión antes de retirarse y otras dos afroamericanas están pendientes de volar en los próximos años. El primero en volar fue Guion Bluford, que viajó en 1983 en la misión del Transbordador STS-8 del Challenger. Por su parte, la primera mujer afroamericana en volar al espacio fue Mae Jemison, que viajó en 1992 en la misión STS-47 del Endeavour. Y la lista de astronautas hispanos del mundo en general y de la NASA en particular no es tampoco muy larga, con 13 en total. El primero fue el cubano Arnaldo Tamayo, que voló al espacio en la misión soviética Soyuz 38 en 1980. El mexicano Rodolfo Neri fue el primer hispano en volar con la NASA, en la misión STS-61B del Atlantis en 1985, pero sin ser un astronauta seleccionado por la agencia. El costarricense Franklin Chang-Diaz fue el primer astronauta hispano seleccionado oficialmente por la NASA y realizó su primer vuelo en la misión STS-61C del Columbia en 1986, vuelo al que le siguieron seis más en los siguientes dieciséis años. El resto de hispanos son astronautas nacidos en territorio norteamericano con doble nacionalidad y ascendencia hispana, o nacidos en Perú (Carlos Noriega), España (Michael López-Alegría) o Puerto Rico (Joseph Acaba). A esta lista sumamos al español Pedro Duque de la ESA, que voló al espacio en 1998 con la misión STS-95 del Discovery y en una segunda ocasión en 2003 con la misión Soyuz TMA-3, hacia la Estación Espacial Internacional. Las únicas mujeres astronautas hispanas son Ellen Ochoa, de ascendencia mexicana y que voló 4 veces al espacio, y Serena Auñón, de ascendencia cubana que voló en 2018 en la misión Soyuz MS-09 a la ISS. Con todos estos datos, ya sabemos lo que ha ocurrido en el pasado hasta el día de hoy. Veremos cómo transcurre el futuro y si tendremos una representación más justa de sexos y razas en el espacio.

¿Cuál ha sido el número máximo de personas que han estado en el espacio a la vez?

Las misiones espaciales tripuladas siempre han enviado un número reducido de astronautas al espacio, desde pequeñas cápsulas con entre 1 y 3 tripulantes hasta el Transbordador Espacial, que podía llevar hasta 7 astronautas (incluso 8 en algún vuelo). Con la llegada de la Estación Mir y posteriormente con la Estación Espacial Internacional, el número de astronautas que estaban al mismo tiempo en el espacio y en el mismo complejo aumentó considerablemente. De hecho, la carrera espacial ha tenido numerosos momentos en los cuales hemos tenido una decena o más de astronautas y cosmonautas juntos en el espacio. Y desde luego, con la reciente incorporación de las cápsulas Orion, Dragon y Starliner, que podrán llevar 4 o más astronautas, junto con los nuevos vuelos de turismo espacial y la estación espacial china, estos números serán frecuentemente superados. Hasta octubre de 2021, el número máximo de personas que han estado en el espacio en el mismo instante ha sido de 14 en una ocasión. Además, 13 personas han estado en el espacio en el mismo instante en 8 ocasiones y en seis de ellas en la misma estación espacial.

Personas	Fecha	Lugar	Nacionalidades
11	Del 6 al 11 abril de 1984	STS-41C Salyut 7 (T-10, T-11)	5 EE. UU. 5 URSS, 1 India
	Del 30 de octubre al 6 de noviembre de 1985	STS-61A Salyut 7 (T-14)	5 EE. UU., 2 Alemania, 1 Holanda 3 URSS
	Del 2 al 6 de diciembre de 1988	STS-27 MIR (TM-7, TM-8)	5 EE. UU. 5 URSS, 1 Francia
	Del 7 al 14 de agosto de 1997	STS-85 MIR (TM-25, TM-26, STS-84)	5 EE. UU., 1 Canadá 4 Rusia, 1 EE. UU.
12	Del 2 al 10 de diciembre de 1990	STS-35 MIR (TM-10, TM-11)	7 EE. UU. 4 Rusia, 1 Japón
	Del 24 al 25 de marzo de 1992	STS-45 MIR (TM-13, TM-14)	6 EE. UU., 1 Bélgica 4 Rusia, 1 Alemania
	Del 31 de julio al 8 de agosto de 1992	STS-46 MIR (TM-14, TM-15)	5 EE. UU., 1 Italia, 1 Suiza 4 Rusia, 1 Francia
	Del 8 al 9 de julio de 1994	STS-65 MIR (TM-18, TM-19)	6 EE. UU., 1 Japón 5 Rusia
	Del 4 al 11 de octubre de 1994	STS-68 MIR (TM-19, TM-20)	6 EE. UU. 5 Rusia, 1 Alemania
	Del 3 al 4 de noviembre	STS-66 MIR (TM-19, TM-20)	5 EE. UU., 1 Francia 5 Rusia, 1

	de 1994		Alemania
	Del 22 al 29 de febrero de 1996	STS-75 MIR (TM-22, TM-23)	4 EE. UU., 2 Italia, 1 Suiza 4 Rusia, 1 Alemania
13	Del 14 al 18 de marzo de 1995	STS-67 MIR (TM-20, TM-21)	7 EE. UU. 5 Rusia, 1 EE. UU.
	Del 11 al 21 de febrero de 1997	STS-82 MIR (TM-24, TM-25)	7 EE. UU. 5 Rusia, 1 EE. UU.
14	Del 16 al 17 de septiembre de 2021	ISS (SpaceX Crew-2, Soyuz MS-18) Tiangong (Shenzhou 12) Inspiration4 – Resilience (Crew Dragon C207.2)	2 Rusia, 3 EE.UU., 1 Japón, 1 Francia 3 China 4 EE.UU.

Listado de ocasiones en las que se han reunido 11 o más personas en el espacio en misiones independientes, coincidiendo en el tiempo pero sin acoplamiento. Tabla: elaboración propia.

Personas	Fecha	Lugar	Nacionalidades
11	Del 8 al 22 de febrero de 2010	ISS (STS-130, TMA-16, TMA-17)	8 EE. UU., 2 Rusia, 1 Japón
	Del 23 de abril al 2 de mayo de 2021	ISS (SpaceX Crew-1, MS-18, SpaceX Crew-2)	6 EE. UU., 2 Rusia, 2 Japón, 1 Francia
12	Del 9 al 18 de septiembre de 2006	ISS (STS-115, TMA-8, TMA-9)	6 EE. UU., 2 Rusia, 1 Canadá, 1 Alemania, 1 España, 1 Irán
	Del 16 al 27 de noviembre de 2009	ISS (STS-129, TMA-15, TMA-16)	8 EE. UU., 2 Rusia, 1 Bélgica, 1 Canadá
	Del 14 al 26 de mayo de 2010	ISS (STS-132, TMA-17, TMA-18)	8 EE. UU., 3 Rusia, 1 Japón
	Del 24 de febrero al 9 de marzo de 2011	ISS (STS-133, TMA-01M, TMA-20)	8 EE. UU., 3 Rusia, 1 Italia
	Del 16 al 24 de mayo de 2011	ISS (STS-134, TMA-20, TMA-21)	7 EE. UU., 3 Rusia, 2 Italia
13	Del 29 al 31 de enero de 1998	MIR (STS-89, TM-26, TM-27)	7 EE. UU., 5 Rusia, 1 Francia
	Del 28 de abril al 1 de mayo de 2001	ISS (STS-102 Crew 2, STS-100,	7 EE. UU., 4 Rusia, 1 Italia, 1 Canadá

	TM-32)	
Del 26 al 28 de marzo de 2009	ISS (STS-126, TMA-13, TMA-14)	9 EE. UU., 2 Rusia, 1 Hungría, 1 Japón
Del 15 al 31 de julio de 2009	ISS (STS-127, TMA-14, TMA-15)	7 EE. UU., 2 Rusia, 2 Canadá, 1 Bélgica, 1 Japón
Del 29 de agosto al 12 de septiembre de 2009	ISS (STS-128, TMA-15, TMA-16)	8 EE. UU., 2 Rusia, 1 Bélgica, 1 Canadá, 1 Suecia
Del 5 al 20 de abril de 2010	ISS (STS-131, TMA-17, TMA-18)	8 EE. UU., 3 Rusia, 2 Japón

Listado de ocasiones en las que se han reunido 11 o más personas en el espacio, dentro de la misma Estación Espacial. Tabla: elaboración propia.

Como vemos, este alto número de personas en el espacio se puede dar con dos circunstancias diferentes: con los astronautas de varias naves (Transbordador, Soyuz, Dragon o Starliner) acopladas a la misma estación espacial (sea la Mir o la ISS), o bien con los astronautas volando en misiones independientes que no llegan a acoplarse y que solo coinciden en el tiempo. En casi todas las ocasiones en las cuales se han juntado entre 11 y 13 personas en una estación espacial, se ha debido a las visitas que realizaba el Transbordador Espacial a la ISS. En esos casos ocurridos en la primera década de este siglo, el Transbordador coincidía con dos tripulaciones de las naves rusas Soyuz, cosa que ocurrió hasta que el Transbordador dejó de estar en servicio en 2011. En otra ocasión, fue debido a una circunstancia similar, pero ocurrió en la estación rusa MIR. Más recientemente, las «aglomeraciones» se han debido a

la llegada de las cápsulas Dragon con 4 tripulantes cada una a la Estación Espacial Internacional. Por otro lado, los momentos en los cuales han coincidido entre 11 y 13 personas en el espacio, pero sin acoplarse (en misiones independientes), han tenido lugar cuando las misiones del Transbordador Espacial coincidían en el tiempo con la estancia de dos misiones rusas Soyuz en la MIR o la Salyut 7, entre la década de los ochenta y los noventa. Dado el panorama actual, es muy probable que estas cifras sean igualadas o superadas cada año.

El domingo 25 de abril de 2021 se juntaron a cenar los 11 astronautas que en ese momento estaban en la Estación Espacial Internacional como parte de la Expedition 65, la Crew-1 y la Crew-2. Imagen: Soichi Noguchi/JAXA.

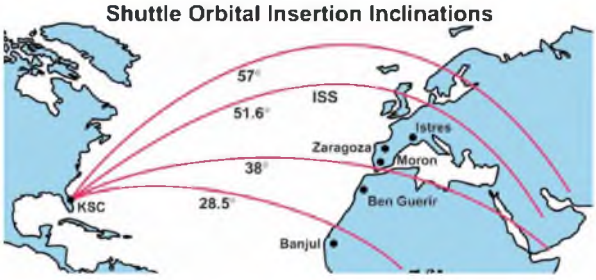
El día que pudo haber aterrizado en Zaragoza un transbordador espacial

El transbordador espacial es la máquina más compleja jamás construida por la humanidad, con más de 2 000 000 de componentes que deben trabajar con una altísima precisión y soportando grandes vibraciones, presiones, temperaturas y velocidades. Nuestra historia de algo que nunca ocurrió comienza el 29 de julio de 1985, cuando a las 17:00 (hora local) despegaba el Transbordador Challenger en su octava misión, conocida como STS-26 (51F), cargado con un conjunto de experimentos llamados Spacelab-2. A los 3 minutos y 31 segundos de vuelo, un sensor de temperatura del motor n.º 1 falló y 2 minutos y 12 segundos más tarde, el segundo sensor también falló. Por tanto, el motor fue apagado por el ordenador de a bordo, al creer que estaba detectando unas temperaturas anormalmente altas en esa fase del lanzamiento, que podrían provocar una explosión. Esta ha sido la única vez en la que un motor del Transbordador ha fallado en pleno vuelo, aunque fuera debido a sensores defectuosos.

Como la NASA tenía pensados todos los problemas posibles durante un lanzamiento, un evento de este tipo era una situación prevista y conocida como ATO (Abort to Orbit). En el caso de un fallo de este tipo, y para poder llegar hasta la órbita, el ordenador programó los otros dos motores para mantenerse encendidos durante 86 segundos más del tiempo previsto y funcionando a una potencia mayor de la habitual, para compensar su pérdida. Con eso, el Shuttle debería alcanzar la órbita habitual sin mayor problema. Sin embargo, a los 8 minutos de vuelo otro sensor indicaba el mismo problema de sobrecalentamiento del motor n.º 2 y un segundo sensor mostraba lecturas que llevaron al motor a su apagado en pocos segundos. En ese momento, la ingeniera y controladora Jenny M. Howard indicó rápidamente a la tripulación que ignoraran el sensor y que mantuvieran en funcionamiento el motor, ya que

los datos recibidos por telemetría indicaban que lo que estaba fallando era el sensor y que al motor no le pasaba nada. Le hicieron caso y el Challenger llegó a los pocos segundos a la órbita terrestre. Si el segundo motor hubiese fallado por completo, o la NASA por precaución hubiera apagado el motor, el Challenger no habría tenido la potencia necesaria como para llegar a órbita. En ese caso se habría realizado un «aborto de la misión» con un aterrizaje de emergencia en la Base Aérea de Zaragoza, el lugar previsto para ese vuelo en caso de producirse un fallo en el despegue. Y si las condiciones meteorológicas fueran malas en Zaragoza, la pista de aterrizaje alternativa habría sido la que se encuentra en la Base Aérea de Morón, en la provincia de Sevilla. Por suerte (o por desgracia para los que vivimos en España), el Challenger pudo llegar a su órbita y aterrizó sin incidentes en California el 6 de agosto de 1985 tras cumplir con éxito sus tareas.

Para casos de emergencia, la NASA tenía un listado de más de 100 posibles pistas de aterrizaje repartidas por todo el mundo, muchas de ellas en los propios Estados Unidos, pero otras en Canadá, Reino Unido, Marruecos, Francia, Portugal y España, entre otros países. Para elegir las pistas de emergencia en cada misión, se tenían en cuenta las características del lanzamiento, la órbita prevista, las condiciones meteorológicas, los medios técnicos y humanos presentes e incluso la situación política de la región. Casi siempre, las pistas seleccionadas para la mayoría de las misiones eran las de Istres en Francia y las de Zaragoza y Morón en España.



Posibles inclinaciones para las órbitas del Transbordador y las bases más habituales para un aterrizaje de emergencia. Imagen: NASA.

Capítulo 12

Men in Red.
Historias de cosmonautas

Un botellón en el espacio

El alcohol está prohibido en el espacio. ¿Fin de la historia? Evidentemente no. El alcohol es un producto que (en cualquiera de sus variantes) no está nada aconsejado tomar en el espacio. No tan solo porque en ese momento estés viajando en una nave de miles de millones de euros, a miles de kilómetros por hora y a muy pocos centímetros del frío y el vacío más extremo, sino porque además no quiero ni pensar cómo será un mareo en gravedad cero. Y de vomitar ni hablamos. Otro grave problema para añadir es que el etanol que contiene se evapora fácilmente y puede dañar la electrónica, el circuito de recuperación del agua y los conductos de ventilación. La bebida puede ir bien embolsada, pero al orinar todos los vapores se dispersarían por la estación rápidamente. Así que de forma oficial, las agencias espaciales no permiten subir alcohol al espacio, ni la estadounidense NASA, ni la rusa Roscosmos e imaginamos que mucho menos la china CNSA. Ni siquiera en forma de gel desinfectante de manos, ni de perfume, ni enjuague bucal, ni toallitas, nada que se pueda evaporar o beber a la desesperada puede subir al espacio. Aunque de momento tampoco vemos carteles que digan: «Prohibido el consumo de bebidas alcohólicas», «No alcohol beyond this point», «Запрещено распитие спиртных напиткоа» o «禁止喝含酒精的饮料».

Pero (siempre hay un «pero») la historia nos dice que si algo está prohibido, los humanos tendemos a incumplirlo más. Así que los astronautas se las han apañado en las últimas décadas para subir alguna bebida graduada de extranjis al espacio. Sobre la etapa soviética no hay mucha información, dado el secretismo que rodeaba a sus misiones, pero se reconoce universalmente que en las misiones de larga duración se incluía alcohol en las raciones de comida de forma oficial. Incluso los médicos recomendaban llevar coñac, porque «estimulaba el sistema inmune y mantenía al cuerpo en buen tono». Sí, claro, vaya espabilados. En el año 2010, el cosmonauta Alexander

Lazutkin reconoció en una entrevista que llevaban años haciendo contrabando de licores, incluso en los años noventa en la estación rusa MIR, todo ello con la oposición y a escondidas de Roscosmos. Entre los ingeniosos métodos para llevar el cargamento al espacio estaban:

- Perder dos kilos de peso unas semanas antes del lanzamiento de la Salyut 7 y colocar pequeñas botellas en los huecos del traje espacial mientras se vestían, y de esa forma no superar su peso oficial (Igor Volk). Pasaron hambre, pero mereció la pena.
- Llevarse un libro hueco con una botella de hasta litro y medio en el interior (el espabilado de Igor Volk de nuevo). Para qué quieres leer si puedes meterte un lingotazo. Por supuesto, lo más importante es que no goteara nada en la botella.
- Subir docenas de bolsas de plástico precintadas rellenas de coñac armenio, que escondían en los trajes (Valery Ryimin). No lo he probado, pero el coñac armenio te tiene que cambiar hasta la voz para toda la vida. Según Ryimin, una pequeña gota de alcohol te calma y elimina la tensión. La tila también lo hace y a nadie se le ocurrió llevar tila al espacio.
- Meter una pequeña botella en una enorme pulsera que usaban para medir la presión arterial. Evidentemente el aparato dio unas mediciones raritas todo el vuelo.
- Meter varios litros de alcohol dentro de los trajes que se usan para hacer ejercicio y prevenir la atrofia muscular (Georgy Grechko). Por supuesto, no sufrieron atrofia en los músculos y tampoco en los codos, no pararían de empinarlos en toda la misión.
- Tirar el zumo de las bolsas y rellenarlas de vodka y otros licores. Esta es la mejor gamberrada, digna de cualquier instituto que

se precie.

Sin que fuera una sorpresa para nadie, todos estos cosmonautas declararon que el alcohol debería ser legal en el espacio y que «ayuda a conciliar el sueño más fácilmente y a despertar más despejado». Y seguro que las bondades van en proporción a las cantidades que te tomes. Como dijo un ministro ruso de Salud: «En órbita la gente puede tener un estado emocional complicado. Y si antes de dormir se toman entre 5 y 7 gramos de coñac, yo lo apoyo». Quiénes somos nosotros para llevar la contraria a un ministro ruso de Salud. Visto lo visto, a nadie le extrañó la famosa «fiesta del coñac» que se montaron los cosmonautas rusos y los astronautas norteamericanos en la Estación MIR en 1997. La fiestecilla fue liderada por el inquieto Lazutkin, que fue secundado de forma entusiasta por Vasili Tsibliyev y que, junto con otro cosmonauta ruso, un astronauta alemán y otro norteamericano, se encargaron de acabar con todo el alpiste de la Estación Espacial.

Como prueba de que a los americanos también les gusta darle al pirriaque, tenemos como ejemplo en 1962 la misión Mercury 8. En ella el astronauta Wally Schirra descubrió nada más llegar a la órbita que le habían escondido un paquete de cigarrillos y una botellita de *whisky* Cutty Sark bajo el asiento de su cápsula Sigma 7. Se comenta que se reservó el regalo para cuando volvió a la Tierra, pero tal vez fue porque en una misión de poco más de 9 horas y plagada de pruebas, no tuvo la ocasión de relajarse ni un momento. También es conocida la historia de Deke Slayton, del Apolo 8, que en 1968 escondió botellitas de brandi en los paquetes de comida que tenían reservados para el día de Navidad, mientras sobrevolaban la Luna. Es que era Navidad, no seáis mal pensados. Por lo que parece, al comandante Frank Borman no le hizo nada de gracia y prohibió que se tomaran ni un sorbo. A la vuelta del viaje declaró: «Si hubiéramos bebido una sola gota de ese maldito

brandi y la nave hubiera explotado camino a casa, habrían culpado al brandi». Muy responsable y muy aguafiestas, señor Borman.

Y en 1969, el astronauta Buzz Aldrin tuvo la genial idea de comulgar con una copa vino en la superficie de la Luna (dentro del módulo lunar, claro) durante la histórica misión del Apolo 11. Curiosamente se le derramó el vino, aunque no sabemos si por culpa de la baja gravedad lunar o porque ya llevaba algunas copas encima. Como nota curiosa, la NASA sí autorizó esta bebida por ser una ceremonia religiosa. ¡Cuánto tienen que aprender los rusos ateos! Poco después, y ya con el programa Skylab en marcha, los responsables de planificar los alimentos para la última misión (Skylab-4) pensaron en incluir un poquito de Jerez en la cena de Navidad (sí, siempre la Navidad es buena excusa). En cuanto la prensa se enteró de aquello, comenzaron a salir titulares y la NASA, temiendo acusaciones de comportamientos irresponsables, de malgastar el dinero y de ir contra la moral, eliminó los copazos del menú, para decepción de la tripulación. Por esas acusaciones y por el hecho de que, según dijo la BBC, los astronautas llegaron a tener arcadas debido a los olores del vino recalentado y almacenado durante semanas en un recipiente.

De izquierda a derecha: Aleksandr Kaleri, Reinhold Ewald (alemán), Valery Korzun, Vasili Tsibliyev y Aleksandr Lazutkin, en una «fiesta del coñac» realizada en febrero de 1997 por las tripulaciones rusas de las misiones TM-24 y TM-25. Los astronautas

de la NASA se quitaron de en medio, al menos para la foto. Imagen: NASA.

Por parte de la NASA siempre se ha negado la existencia de alcohol en sus misiones, pero el astronauta Clayton Anderson afirma que ha sido testigo de su presencia en la Estación Espacial Internacional, durante su misión de 152 días en el año 2007. Maldito chivato, en tu próximo vuelo solo llevarás bolsitas de mosto. Como bien dicen sus compañeros, lo que pasa en el «segmento ruso» se queda en el «segmento ruso». Pero bueno, de forma «consentida» las bebidas alcohólicas han subido en varias ocasiones a la ISS. En el año 2015 fue una destilería japonesa llamada Suntory la que subió sus mejores *whiskies* como parte de un experimento para comprobar si la falta de gravedad cambiaba el gusto a las bebidas. Lo que no sabemos es si todas las botellas volvieron de nuevo a la Tierra. Y en 2019, en una misión de reabastecimiento con la cápsula Cygnus, volaron varios recipientes con vino. En este caso se trataba de un experimento luxemburgués para averiguar su proceso de envejecimiento, así como el comportamiento de las moléculas de taninos en baja gravedad. Y es que de forma oficial, los astronautas tienen prohibido beber alcohol en las 12 horas previas al lanzamiento. El problema es que en 2007 un comité de salud de la NASA reveló en un informe que algunos astronautas habían bebido en exceso antes del despegue. El informe comentaba que incluso dos de ellos llegaron a la nave con sus habilidades disminuidas y sembraron dudas de si serían capaces de hacer sus tareas con normalidad. Aun así volaron, seguramente por no destapar un escándalo en ese momento. Si ya lo decía la canción: «Si bebes, no conduzcas», pero no mencionaba nada de tripular una nave espacial.

Los hombres abandonados en el espacio

Estamos a 2 de octubre de 1991, son las seis de la mañana y desde el Cosmódromo de Baikonur, de la Unión Soviética, despega la misión Soyuz TM-13. Dentro de la cápsula se encontraban el cosmonauta soviético Alexander Volkov, el kazajo Toktar Aubakirov y el austríaco Franz Vichböck. Su destino era la Estación Espacial MIR, a la que llegaron dos días más tarde (el 4 de octubre) y donde ya se encontraba el soviético Sergei Krikalev, que llegó con la misión Soyuz TM-12 en mayo de ese mismo año. Por tanto, en ese momento, nuestro protagonista Krikalev ya llevaba 5 meses en la MIR. En julio, a Krikalev ya le habían comunicado por radio que debía permanecer el doble del tiempo previsto en la MIR (un total de diez meses, en lugar de cinco), ya que las dos siguientes misiones habían sido unidas en una sola, debido a los graves problemas económicos que estaba atravesando la Unión Soviética. Así que eso implicaba que debían mantener a las tripulaciones más tiempo en órbita, puesto que no había dinero para naves, ni para subir, ni para bajar. Casi una semana después (el 10 de octubre), el austríaco y kazajo vuelven a la Tierra, dado que no estaban preparados para estancias de larga duración y sus misiones eran prácticamente de diplomacia entre países. Por tanto los dos cosmonautas se quedaron en la MIR con un futuro incierto y sin saber cuándo volverían a la Tierra. El recién llegado Volkov y el veterano Krikalev permanecieron en la estación realizando experimentos y labores de mantenimiento del complejo, siendo bautizados en ese momento por la prensa como «los hombres abandonados en el espacio», en vista de que no se sabía cuándo podrían enviar otra nave para que bajaran a la Tierra.

Volkov y Krikalev dentro de la Estación MIR en 1991, los últimos cosmonautas soviéticos. Imagen: Rosaviakosmos / TASS / Sovfoto.

Llegamos a diciembre y Krikalev ya llevaba siete meses en la MIR y Volkov acumulaba ya dos y seguían sin saber nada sobre su regreso. En esa situación, el 26 de diciembre de 1991 ocurrió un hecho que cambió el mundo por completo, ya que ese día desaparecía la Unión Soviética y llegaba la nueva Rusia, con un montón de repúblicas independientes a su alrededor. Con un país en plena transformación y plagado de problemas económicos, estos dos astronautas permanecían bastante ajenos a todo lo que estaba pasando, y la poca información que les llegaba era la «oficial», que casi no les informaba de nada. La información «extraoficial» la conseguían gracias a las comunicaciones por radio con aficionados de todo el mundo, que les informaban de la evolución de la situación política y de la desintegración de la Unión Soviética. Por si fuera poco, la mujer de Krikalev trabajaba en el Centro de Control y le comunicó en varias ocasiones que estaban en la ruina total. Todo debido a la devaluación de la moneda que los dejó casi sin dinero para comer, puesto que el sueldo de astronauta se había quedado en el equivalente de

unos 2,5 dólares mensuales. Al borde de una depresión y con una salud muy debilitada, en varias ocasiones pensaron en meterse por su cuenta en la cápsula de retorno y abandonar la MIR. Sin embargo, por responsabilidad no lo hicieron, pues algo así hubiera provocado la suspensión del programa espacial y el abandono definitivo de la renqueante estación, que por esas fechas ya estaba plagada de filtraciones y fallos. Tras intentar vender sin éxito la Estación MIR a la NASA para que se hiciera cargo de ella, en marzo de 1992 la Agencia Espacial Rusa anunció que había llegado a un acuerdo publicitario con Coca-Cola y que había vendido un asiento de astronauta para Alemania. Gracias a esto, a los pocos días se les comunicó que podrían descender a la Tierra a finales de ese mismo mes. Cuando por fin el día 25 de marzo tocaron el suelo con sus banderitas soviéticas en el brazo, un desconcertado Volkov y un pálido y sudoroso Krikalev se toparon con demasiados cambios difíciles de asimilar. En ese momento el país que dejaron atrás ya no existía, su Gobierno y el sistema político eran diferentes, el Cosmódromo de Baikonur y la zona de aterrizaje eran territorio extranjero para ellos y la ciudad natal de Krikalev había dejado de ser Leningrado para llamarse de nuevo San Petersburgo. Subieron al espacio siendo soviéticos y aterrizaron siendo rusos, por lo que a ambos los bautizaron como «los últimos ciudadanos de la Unión Soviética». Tal era el descontrol en esa época, que unos meses antes el Ejército ruso comenzó a tramitar contra Krikalev una orden de deserción, al no presentarse en su unidad durante los incidentes producidos en todo país, hasta que cayeron en la cuenta de que se encontraba todavía en el espacio. ¡Menuda historia!

Krikalev es sacado de la cápsula por tres técnicos rusos. Nada más bajar le dieron algo caliente de beber y le taparon la bandera. Arruinado, deprimido, enfermo y desorientado pudo volver al espacio en 1994 en la misión STS-60 de la NASA. Más tarde, en 1998, durante la misión STS-88, fue el primero en entrar en la Estación Espacial Internacional. Además fue miembro de la Expedición 1 a la ISS en el año 2000 y miembro de la Expedición 11 en 2005. Una carrera envidiable y un lugar en la historia. Imagen: Rosaviakosmos.

De tal palo, tal astronauta

Sergey Aleksandrovich Volkov es un cosmonauta ruso, nacido el 1 de abril de 1973 en Chuhuiv (o Chuguyev, en Ucrania), y ha participado en tres vuelos espaciales hacia la ISS: la Expedición 17 en abril de 2008, la Expedición 28/29 en junio de 2011 y la Expedición 45/46 en septiembre de 2015. Además, fue el comandante de la ISS más joven de la historia (durante la Expedición 17) y participó en cuatro paseos espaciales durante esas misiones, con un total de 23 horas en el exterior. En febrero de 2017, con 44 años, se retiró como cosmonauta. Hasta aquí una biografía de lo más normal para un cosmonauta ruso, si no fuera por una particularidad: su apellido. Sergey Volkov es el hijo de Alexander Volkov, uno de los cosmonautas que junto con Sergei Kirkalev fueron «abandonados en el espacio» y volvieron siendo los «últimos ciudadanos de la Unión Soviética» en 1992. Sergey Volkov pasará a la historia como el primer cosmonauta que es hijo de otro cosmonauta, el primero de la «segunda generación». Junto a su esposa Natalia tuvieron un hijo en 2001, ¿será el primero de la tercera generación de cosmonautas? Estaremos pendientes.

Pero las sagas no acaban aquí, aunque esta historia es algo diferente. El segundo hijo de un astronauta es Richard Garriott, emprendedor multimillonario del sector de los videojuegos, nacido en Cambridge (Reino Unido) el 4 de julio de 1961 y con doble nacionalidad británica y estadounidense. La nacionalidad norteamericana le viene por ser hijo de Owen Garriott, científico y astronauta norteamericano, que voló en la mítica misión Skylab-3 en 1973 y en la misión STS-9 del Columbia en 1986 con el laboratorio Spacelab, realizando numerosas investigaciones en ambos vuelos. Dada su gran fortuna, Richard Garriott pudo pagar su billete de 30 millones de dólares a la empresa Space Adventures, para volar a la Estación Espacial Internacional el 12 de octubre de 2008, en la misión Soyuz TMA-13. De esta manera se convirtió en

el sexto turista espacial de la historia y el segundo «hijo de» astronauta (o cosmonauta), volviendo a la Tierra el 24 de octubre. Y coincidencias de la vida, Garriott coincidió en la Estación Espacial con Sergei Volkov, que estaba finalizando su primera misión con la Expedición 17. Para rematar la historia, ambos «hijos de» volvieron juntos del espacio hasta nuestro planeta en la cápsula Soyuz TMA-12 el 24 de octubre de 2008. El espacio los cría y ellos se juntan.

Sergei Volkov, rey de Chuguyev, el segundo de su nombre, señor de las tres misiones, príncipe de los cuatro paseos e hijo de Alexander «el abandonao». Imagen: Roscosmos.

Richard Garriott, rey de Cambridge, el segundo de su nombre, señor del *joystick*, príncipe del cheque en blanco e hijo de Owen «el de la ciencia». Imagen: Roscosmos.

Extrañas tradiciones que se mantienen en el tiempo

Quien más y quien menos tiene alguna manía que hace repetidamente por costumbre, por creer que le va a dar buena suerte o por simple manía sin sentido. Pues los astronautas también tienen sus cositas, algunas medianamente razonables, pero otras debemos reconocer que son bastante raritas. Y a veces la línea que separa una tradición de una costumbre rara es muy delgada. Es curioso ver cómo un grupo de personas que son muy inteligentes, con un extenso entrenamiento, con grandes habilidades y una gran formación pasan sus últimas horas antes de volar haciendo cosas muy respetables, pero también otras raras y supersticiosas. Pero bueno, mejor no tentar a la suerte con miles de toneladas de combustible bajo tu culo. Si pensaste que lo del pipí en la rueda era raro, vamos con una lista de rituales. Por la parte rusa tenemos una larga lista de tradiciones, algunas más bonitas que otras:

- Como ejemplo de una bonita tradición, todas las tripulaciones que vuelan al espacio desde Rusia se pasan unas semanas antes del lanzamiento por la muralla del Kremlin en Moscú. Allí dejarán como señal de homenaje y respeto un ramo de flores en la tumba de Yuri Gagarin, que se encuentra allí enterrado.
- Otra bonita costumbre consiste en izar las banderas de los países que participan en la misión unos días antes del lanzamiento. Hasta aquí todo normal en un evento de nivel internacional.
- Y en esos días previos al despegue, otro bonito acto que no debe faltar es una tradición iniciada con Gagarin, consistente en la plantación de un árbol por parte de la tripulación en la Avenida de los Cosmonautas. Así que ya deben tener un buen jardín después de 60 años realizando lanzamientos.

- Otra costumbre obligatoria es realizar una visita al Museo Korolev, en Baikonur. No hay cosmonauta o astronauta que se resista a dejar su firma en un mural con cohetes.

Así que de momento vamos bien: flores en la tumba, banderas, plantar árbol y firma en el museo.

La astronauta italiana Samantha Cristoforetti firma en la puerta de su habitación antes de su lanzamiento en 2014. Imagen: S. Corvaja - ESA.

Pero claro, los días son largos, todo el trabajo está hecho y solo queda esperar que llegue el día del lanzamiento, por lo que el aburrimiento hace de las suyas también para las familias y los ingenieros que esperan el lanzamiento. Entre las tradiciones más raras tenemos:

- Es ya toda una costumbre que las familias se coloquen a lo largo del recorrido del lento tren que lleva el cohete Soyuz hasta la torre de lanzamiento. Allí irán dejando unas monedas en la vía, que serán aplastadas al paso del tren. Esto se supone que traerá buena suerte y las guardan como recuerdo. Algo así como el típico recuerdo de turista que pone «Estuve en

Baikonur y me acordé de ti».

- Sin embargo, los astronautas tienen prohibido ir a ver el tren y tampoco pueden ver cómo el cohete es izado y colocado en la torre, porque todo eso daría mala suerte. No es algo muy científico, pero la tradición se mantiene.
- Mientras tanto, los viajeros espaciales son llevados a que les corten el pelo, algo que (¡sorpresa!) hizo Gagarin antes de su lanzamiento.
- Pero aquí llega lo peor, porque esa misma noche es tradición obligatoria para mantener la buena suerte ver una película rusa de 1969 llamada *White Sun of the Desert*. Este película es una especie de *western* a lo ruso, mezcla de comedia y drama, con dosis de acción y musical algo truño de principio a fin. La verdad, yo preferiría hacer algo más útil como dormir, aunque seguro que muchos hacen ambas cosas a la vez.
- Ya en el día del lanzamiento y antes de salir de su habitación, deben dejar su firma en la puerta del hotel donde se alojan, mientras se toman una copa de champán. ¿Pero qué pasa con el alcohol?
- A la salida del hotel serán bendecidos por un sacerdote ortodoxo, que más tarde irá a la rampa de lanzamiento para bendecir el cohete, lo cual es una pérdida de tiempo, ya que para algo sirven las monedas aplastadas, ¿no?
- Una vez dentro de la cápsula la espera puede ser larga, sin mucho que hacer aparte de tocar algunos botones, por lo que el mismísimo Gagarin, cuando llevaba un buen rato esperando, pidió que le pusieran música. Cuando le preguntaron qué tipo de música prefería, el romanticón dijo que le gustaría oír canciones de amor rusas. Así que todos los sucesores del «primer hombre» que se meten

en una Soyuz deben escuchar empalagosas canciones una detrás de otra, algunos deseando incluso que aquello explotará ya de una vez, mientras intentan quitarse las correas para salir corriendo.

- Otra costumbre bonita pensada para que el viaje se realice sin incidentes destacables (excepto la tortura musical previa) indica que la tripulación debe subir en la cápsula portando al menos un muñeco de peluche, que generalmente suele pertenecer a alguno de los hijos de los tripulantes. El peluche, una vez colgado en el panel de mandos, tiene una importante función: mientras el cohete sube, el peluche queda colgando y balanceándose en la cápsula. Pero cuando se apagan los motores principales, la cápsula queda en gravedad cero y el peluche comenzará a flotar. ¿Qué mejor indicador para decirte que has llegado al espacio que una Peppa Pig de ojos saltones mirándote con una sonrisa?

Y aunque la mayoría de las tradiciones espaciales son rusas, por la parte norteamericana la cosa no es que sea menos rara. Esta es una lista de algunas de las tradiciones más habituales:

«De verdad, padre, no creo que sea necesario, vengo duchado de casa». Nadie se libra de un buen tsunami de agua bendita, con una cruz en toda la cara antes de volar. Hay agua para todos: cosmonautas, ingenieros, fotógrafos, el cohete y para ti que estás leyendo este

libro como te descuides. Imagen: Bill Ingals / NASA.

- Durante su fase de entrenamiento a los astronautas los despiertan cada día con la canción *Going Back to Houston*, de Dean Martin.
- Si la misión sale bien, a la vuelta de su viaje los astronautas cortarán en trocitos las corbatas de todos los ingenieros novatos. Los que todavía usen corbata, claro.
- Además, desde la época de las misiones Mercury, la conocida como «Casa de la Playa» de Cabo Cañaveral sirve como punto de reunión de los tripulantes con sus familias y como lugar para tener un poco de tranquilidad y aislamiento unos días antes del vuelo. Ha sido recientemente restaurada y ahora recibe el serio nombre de Kennedy Space Center Conference Center.
- Como los cohetes Falcon 9 son reutilizables, todos los astronautas se pasan a firmarlo unos días antes de volar.
- Ya unas horas antes del lanzamiento, la tradición manda que todos los astronautas deben sentarse a comer un buen filetón, huevos revueltos y pasteles. Independientemente de la hora del día o de la noche en la que esté previsto el lanzamiento. Te guste o no, te sientas a comer y punto. Aunque esta norma está algo relajada últimamente y pueden elegir otras cosas. Vaya blandengues.
- Por su parte, el equipo que controla la misión debe comer frijoles y pan de maíz, algo que desde luego dará más ambiente a la Sala de Control en las siguientes horas.
- Una vez terminada la comida, hay que echar una partidita al póquer hasta que el comandante o el jefe de astronautas pierda la partida. Espero que el que pierda no pague el vuelo.

- Y para los lanzamientos que se realizan en un cohete Falcon 9 de SpaceX, los astronautas llegan a la rampa de lanzamiento conduciendo un coche eléctrico Tesla, la marca de Elon Musk. Para que todo quede en casa y de paso tener publicidad gratis durante la retransmisión.

La verdad, todo esto que hacen rusos, americanos y demás invitados es mucha parafernalia para sobrellevar mejor la tensión de un viaje espacial. Pero la tradición definitiva comenzó el día en el que algunos astronautas comenzaron a llevar con ellos una toalla, el complemento más útil para cualquier autoestopista galáctico. Y si no sabes de qué estoy hablando, es porque aún no has visto la genial y surrealista película *Guía del autoestopista galáctico*, obra de culto para cualquier friki espacial que se precie. Ya estás tardando.

La mítica «Casa de la Playa» ya no es una casa, ni sirve para las fiestas prelanzamiento como en los años sesenta, ni como lugar de relax antes de cada misión desde los años ochenta. Tras ser casi demolida por el huracán Matthew en 2016, fue reabierta en 2018 como lugar de congresos y reuniones, aunque muchos astronautas siguen acudiendo a ella. Imagen: NASA.

PARTE CUATRO

Historias de
sondas espaciales

Capítulo 13

The Expanse. Historias de la exploración del sistema solar

Si no hay cacahuetes, no lanzamos

Si en la próxima misión de la NASA a otro planeta estás pendiente durante la retransmisión, podrás comprobar que en muchas de las mesas de los controladores hay unos botes de plástico y que de vez en cuando comen algo de ellos. Estos botes son de cacahuetes pelados y estás viendo una tradición que se remonta a 1964. Ese año la NASA preparaba el lanzamiento de la misión Ranger 7, la séptima misión de la serie con destino a la Luna. Ese lanzamiento tenía una particularidad: las seis misiones anteriores habían fallado y la paciencia de políticos y directivos llegaba a su límite. El objetivo del proyecto era obtener fotografías de la Luna mientras las sondas se acercaban a la superficie hasta estrellarse contra ella. No era un plan muy fino, pero al menos era efectivo y permitía realizar fotos muy cercanas que eran difíciles de obtener desde la órbita lunar. Con esas imágenes se pretendía conocer mejor las características del suelo, antes de enviar astronautas que lo pisaran. Tras las primeras misiones fallidas, que incluían explosiones en el lanzamiento, fallos de los sistemas en el vuelo hacia la Luna y fallos de las cámaras, la NASA reorganizó el programa y el 28 de julio de 1964 se lanzaba la misión Ranger 7.

Los nervios en la Sala de Control eran tan grandes que el ingeniero Dick Wallace pensó que sería buena idea repartir cacahuetes para rebajar la ansiedad. El lanzamiento se realizó sin problemas, la nave voló bajo control hacia la Luna, las cámaras funcionaron y la NASA recibió cientos de fotografías de la superficie lunar antes de que la sonda se estrellara contra el suelo. Tras ella, llegaron la Ranger 8 y la Ranger 9, ambas con reparto de cacahuetes y con un éxito total para sus misiones. Así que desde entonces, y de manera oficial, los protocolos de verificación de tareas antes de cada lanzamiento incluyen comprobar que el equipo tiene sus cacahuetes a mano. Otras misiones fallidas de la NASA en los siguientes años, y en las cuales los cacahuetes no hicieron acto de

presencia, resucitaron la tradición y el mito. Por tanto, desde hace décadas los cacahuetes no han faltado en lanzamientos como los de las Voyager, Curiosity o Perseverance. De hecho, la tradición se ha extendido y además de exigirse en los lanzamientos, se comen sin control en la llegada de las sondas a otros planetas o en los aterrizajes de los rovers marcianos. La NASA no reconoce esto como superstición, sino como una simpática anécdota y el deseo de que todo salga bien. Aparte de a los que sean alérgicos, ¿a quién le hacen daño unos cacahuetes?

El algodón no engaña. La radical limpieza de las sondas que van a Marte

Marte es un planeta del cual conocemos muchas cosas, pero todavía no lo sabemos todo. En los últimos 25 años el planeta rojo ha sido estudiado en profundidad por decenas de orbitadores, aterrizadores y rovers que han analizado su superficie y su atmósfera. Sin embargo, todavía no tenemos una prueba definitiva sobre la existencia o no de posible vida microbiana bajo la superficie del planeta. Dado que no hay pruebas de que exista, pero tampoco podemos descartarla, todas las sondas que van a Marte siguen un proceso de limpieza absoluta y total de todos sus componentes. Esta limpieza extrema sigue los llamados «protocolos de protección planetaria» y se realiza para evitar que organismos terrestres que vayan pegados a la sonda, como hongos, bacterias o virus, puedan contaminar el planeta. Si en las sondas marcianas viajaran microorganismos, estos podrían dar falsos positivos de vida marciana en los experimentos, podrían colonizar regiones del planeta cercanas a la nave o incluso interferir con una hipotética vida marciana. Sabemos que cualquier objeto que esté en nuestro planeta está plagado de organismos vivos que habitan en sus superficies e interiores. Cuando limpiamos la superficie de una mesa o una ventana, conseguimos quitar la suciedad y buena parte de la vida que existe en ella, pero no toda. Incluso usando geles hidroalcohólicos o desinfectantes, logramos quitar hasta un 99 % de todos los microorganismos, pero sigue quedando un 1 % que se multiplicará en horas o días.

En muchos tipos de industrias de alta tecnología (farmacéutica, electrónica, aeronáutica...) y en ciertos tipos de laboratorios, existen las llamadas «salas blancas» o «salas limpias». En estas salas especiales se puede trabajar evitando que las partículas y el polvo dañen los componentes más delicados, interfieran en alguna investigación o estropeen un resultado científico. En la industria aeroespacial de fabricación

de cohetes, satélites y sondas también se usan estas salas, donde se montan y ensamblan los distintos componentes de las naves. Las personas que trabajan en ellas entran con trajes aislantes de cuerpo completo, para no contaminarla ni dejar restos biológicos, como bacterias, virus, sudor, células de piel o pelos. Además, todo el aire de una sala limpia entra a través de unos complejos filtros y se renueva completamente cada pocas horas. Así conseguimos que el aire tenga una presencia baja de polvo, aerosoles o vapores químicos de cualquier tipo que puedan dañar los instrumentos, las lentes de las cámaras o los espejos de los telescopios. Asimismo, los suelos y las paredes se cubren con placas y vinilos para que no haya juntas de unión ni lugares donde se pueda acumular la suciedad. E incluso las esquinas suelen hacerse redondeadas para que puedan ser perfectamente limpiadas. Como tarea rutinaria y de forma frecuente, todas las superficies se limpian con productos potentes que logran matar a los microorganismos existentes para evitar su proliferación. Dentro de la sala, la presión atmosférica siempre es algo más alta de lo normal, para que en el momento de abrir una puerta el aire salga hacia afuera y no pueda entrar nada de aire contaminado.

La enorme sala limpia High Bay 1 del JPL, donde se limpian, preparan y ensamblan las sondas de la NASA que van al espacio. A la izquierda podemos ver la *gallery*, desde donde los visitantes pueden seguir las operaciones sin necesidad de entrar en la sala.

Enfrente está el *wall of fame* («muro de la fama») con los logotipos de las últimas misiones preparadas allí. En la sala vemos las distintas partes de la misión Mars 2020 con el rover Perseverance. Imagen: JPL/NASA.

Para comprender lo especiales que son estos lugares, hay que saber que el aire de una calle cualquiera puede contener una media de entre 10 a 35 millones de partículas por metro cúbico de aire, con un tamaño superior a 0,5 micras (µm). Las salas limpias tienen varios sistemas de clasificación por escalas que nos permiten saber el grado de pureza y limpieza del aire. Una de las normativas más utilizadas en el mundo es la ISO 14644, y en esa escala la calle tendría un ISO 9, la peor calificación de todas, indicando que no hay ningún sistema de purificación. Para subir en la escala hay que conseguir dos cosas: que el número de partículas sea mucho menor y que su tamaño también sea más pequeño. En la escala, ISO 1 indica que como mucho hay 10 partículas con tamaño superior a 0,1 µm, ISO 2 serían 100 partículas, ISO 3 serían 1000, hasta llegar a ISO 6, que sería un millón por metro cúbico. En Estados Unidos la NASA suele usar la normativa FED-STD-209E, que nos muestra la cantidad máxima permitida de partículas por metro cúbico, con un tamaño superior a 0,5 µm (micras). Por ejemplo, la sala limpia del KSC donde se ensamblan los componentes de la Estación Espacial (Space Station Processing Facility) es de la clase 100 000, lo que indica que no puede haber más de esa cantidad de partículas por metro cúbico. Esto sería el equivalente a una sala ISO-8. No es un nivel demasiado riguroso, pues no hace falta esterilizar nada, tan solo evitar que entre suciedad en los módulos que suele ser causada por partículas grandes, para lo cual se filtra el aire y se cuida la vestimenta en la entrada. Sin embargo, la sala High Bay 1 del JPL necesita una limpieza superior que la hace portar una clase 10 000, lo que requiere una desinfección 10 veces superior a la del KSC. En su caso equivaldría a un nivel ISO 7, donde habremos eliminado la mayoría de partículas grandes

superiores a 0,5 µm. Como comparación, en la industria farmacéutica, las salas limpias más críticas suelen ser de clase 100, el equivalente a ISO 5, unas 100 veces más limpias que las del JPL.

Las sondas que van a Marte son las que sufren una limpieza más profunda para cumplir con todas las normas de protección planetaria redactadas en el Tratado del Espacio Exterior de 1967. Para ello, todas aquellas partes de la sonda que lo puedan resistir, se someten a temperaturas de entre 110 y 200 °C para esterilizarlas. Los componentes que no pueden pasar este proceso son sometidos a métodos de limpieza que no los vayan a dañar, como luz ultravioleta, líquidos bactericidas y alcoholes. Además, últimamente la NASA usa vapores de peróxido de hidrógeno para acceder a las zonas más difíciles, a las que no se puede llegar de ninguna otra manera. Incluso así, utilizando los métodos más concienzudos y modernos posibles, los componentes de la misión Mars 2020 (el rover Perseverance, el helicóptero Ingenuity, la etapa de crucero, el escudo térmico y la etapa de descenso) portaban en el momento del lanzamiento un total de 500 000 esporas bacterianas. Estas esporas son básicamente bacterias «durmientes» que han quedado desactivadas y son incapaces de reproducirse debido a los tratamientos utilizados. Esta cantidad nos puede parecer muy alta, pero tengamos en cuenta que en un centímetro cuadrado de nuestro teléfono móvil podremos encontrar más de un millón de bacterias. Teniendo en cuenta que la superficie total de todos los sistemas de la sonda miden muchas decenas de metros cuadrados, la reducción de bacterias conseguida es inmensa. También hay que pensar que si la superficie de la nave, algún conducto, cable o circuito lleva alguna espora bacteriana, esta podrá sobrevivir durante mucho tiempo, incluso en el vacío del espacio, a temperaturas de 150 °C y al calor extremo del espacio interplanetario. De toda la nave, la parte que aterrizó en Marte en febrero de 2021 llevaba un máximo de 300 000 esporas, de las cuales

el rover llevaba unas 41 000. Para evitar la contaminación de Marte, incluso el cohete Atlas V, que realizó el lanzamiento, llevaba (a propósito) una trayectoria levemente desviada respecto a Marte, para evitar que acabe cayendo en el planeta rojo en el futuro. Posteriormente, la etapa de crucero de Perseverance se encargó de corregir el rumbo para que pudiera llegar a Marte sin incidentes.

Objeto	Tamaño en micras (µm)
Ancho de un folio	150
Cabello humano	100
Límite visión ojo	40
Célula de piel	35
Polen	20-50
Gota de niebla	20
Glóbulo blanco	12
Partícula de polvo	10
Glóbulo rojo	7
Ácaro del polvo	2
Bacterias	0,4-2
Megavirus	0,44
Virus	0,04-0,09
ADN	0,003 (o 3 nanómetros)

Como curiosidad, esta es una tabla con el tamaño de algunas cosas realmente pequeñas. En una sala limpia se elimina todo lo que tenga un tamaño superior a 0,5 µm, es decir, de bacterias hacia arriba. Tabla: elaboración propia.

¿Cuál ha sido la sonda más pesada de la historia?

Desde que comenzó la carrera espacial, los humanos hemos lanzado al espacio más de 250 sondas. Algunas de ellas con el objetivo de sobrevolar otros mundos, otras con la intención de orbitarlos, algunas otras con la misión de aterrizar sobre ellos y algunas más con la intención de moverse sobre su superficie. Cada tipo de misión tiene unas características muy diferentes, por lo que su diseño será completamente distinto. No es lo mismo una sonda que sobrevuele un planeta, que otra que se vaya a quedar orbitando y que por tanto necesitará llevar mucho combustible para frenar. Y una sonda que descienda a la superficie necesitará escudos térmicos, retrocohetes, paracaídas o incluso todo junto. Y ya ni hablamos de sondas que llevan un orbitador y un aterrizador. Por si fuera poca la variedad de sondas, también son diferentes en función del presupuesto asignado, ya que existen distintas categorías que dependen de los recursos que se puedan gastar. Además, la tecnología ha avanzado mucho y no es lo mismo una misión de los años setenta que una actual, donde se puede construir una sonda mucho más ligera para hacer lo mismo, o hacerla del mismo peso y mucho más avanzada. Por todo eso, saber cuál es la más pesada es muy complicado y siempre dependerá del punto de vista que tengamos. Porque en los datos oficiales podemos considerar su peso con propelentes o sin ellos. Y podemos contar solo la nave principal o también las que llevan acopladas. Y contar las etapas y propelentes necesarios para llegar a su destino o no hacerlo. Y todo esto sin meter en la lista a las antiguas sondas lunares Zond, que en realidad eran cápsulas tripuladas que se modificaron para su misión. Como no hay una norma establecida, veamos algunas de ellas y cada cual que decida según su criterio.

Empecemos por una de las sondas más conocidas. La sonda Cassini de la NASA estuvo dedicada al estudio de Saturno y sus lunas entre 2004 y 2017. Esta nave llevaba acoplada otra pequeña sonda llamada

Huygens, que fue diseñada por la Agencia Espacial Europea con el objetivo de descender a su luna Titán. En el momento del lanzamiento, la sonda Cassini-Huygens tenía un peso 5600 kg, casi seis toneladas de alta tecnología. Sin embargo, su «peso seco» era de 2500 kg. ¿Qué quiere decir peso seco? El peso seco en una sonda o satélite indica el peso que tiene la nave si quitamos todo el combustible, de ahí el uso de la palabra «seco». Esto nos da una idea del peso real de la nave y nos indica, por ejemplo, que esta sonda llevaba más de tres toneladas de combustible. Gracias a unos grandes depósitos de propelentes, la misión Cassini pudo frenar al llegar a Saturno para colocarse en su órbita y tuvo los recursos suficientes como para realizar maniobras durante trece años. De los 2500 kg de la nave, 2150 kg pertenecían a Cassini y 350 kg a Huygens. La sonda Cassini tenía una altura de 6,8 m y una envergadura de 4 m.

La sonda Cassini en el momento de ser instalada en la cámara térmica y de vibraciones para unas pruebas finales. Podemos ver su gran antena en la parte superior, el redondo escudo térmico que contenía la sonda Huygens, acoplada en un lateral, y los técnicos debajo, con los que podemos comparar su tamaño.

Imagen: JPL/NASA.

Otra sonda que suele aparecer como una de las más pesadas jamás lanzada es la de la misión rusa Fobos-Grunt. Esta gran nave despegó desde Baikonur el 8 de noviembre de 2011, con el objetivo de viajar hasta Marte, entrar en órbita del planeta rojo para estudiarlo y hacer descender un aterrizador hacia la luna Fobos. Una vez allí tomaría muestras que serían enviadas de vuelta hasta nuestro planeta. Una nave con unos objetivos tan complejos debía estar formada por varias sondas diferentes y además llevar el combustible necesario para todas las maniobras. Por si fuera poco, también llevaba acoplada la primera sonda china hacia Marte llamada Yinghuo-1. El peso total de semejante Frankenstein era de 13 505 kg, aunque 11 toneladas pertenecían a los sistemas de propulsión que debían colocarla en órbita terrestre, posteriormente enviarla hasta Marte y frenar allí. En realidad la sonda pesaba unos 2400 kg (1200 kg de peso seco), incluyendo el orbitador marciano, la sonda de descenso a Fobos, la cápsula de retorno de muestras y el pequeño orbitador chino. Por desgracia, la etapa que debía colocar a la sonda en una órbita rumbo a Marte falló y todo acabó desintegrándose en la atmósfera terrestre dos meses más tarde. Por tanto, a pesar de que nunca realizó su misión y al hecho de que 11 de sus 13 toneladas fueran etapas de propulsión, se la podría nombrar como la sonda más grande de la historia, aunque tampoco pasa nada si no la consideramos así. Otras dos sondas soviéticas de los años ochenta, llamadas Fobos-1 y Fobos-2 tenían también como objetivo el estudio de Fobos y la configuración era muy similar, aunque no tenían un sistema de retorno de muestras. Ambas sondas tenían un peso de 2600 kg y llevaban unos tanques de inserción orbital de 3600 kg, lo que hacía un total de 6200 kg, por lo que fueron consideradas en su momento las mayores de la historia. La sonda Fobos-1 falló de camino a Marte y la sonda Fobos-2 falló tras realizar unas cuantas órbitas al planeta rojo, por

tanto, tampoco cumplieron su misión.

Otra sonda que opta al premio de la más pesada es la china Chang'e-5, que fue lanzada el 23 de noviembre de 2020. Esta complejísima misión tenía como objetivo volar hasta la Luna, aterrizar en su superficie, recoger muestras y enviarlas hacia la Tierra para poder ser analizadas en laboratorios. Para ello constaba de un orbitador y un aterrizador que pesaba 1200 kg. El aterrizador a su vez llevaba una sonda de ascenso, que llevaría las muestras al orbitador y posteriormente las muestras volverían a nuestro planeta en una cápsula de retorno. El peso total de toda la nave se estima en unos 8200 kg de peso, aunque no hay datos oficiales que nos permitan conocer con exactitud el peso de cada componente y cuánto de ese peso era combustible. La misión fue un rotundo éxito, y el 16 de diciembre de ese mismo año aterrizaban en Mongolia las primeras muestras lunares que llegan a nuestro planeta desde la misión soviética Luna 24 de 1976.

Misión	Peso total / seco (kg)	Observaciones
Fobos-Grunt	13 505 / 1200	Sonda: 2400 kg, peso seco: 1200 kg Parte «marciana»: 6000 kg Yinghuo-1: 115 kg Misión fallida
Chang'e-5	8200 / ?	Aterrizador: 1200 kg Ascender: 500 kg
Fobos 1 / Fobos 2	6220 / 2660	Ambas fallaron en su misión
Europa Clipper	6065 / 2616	Orbitador de Júpiter (lanzamiento 2024)
Cassini-Huygens	5712 / 2523	Sonda Huygens: 320 kg
Tianwen-1	5000 /	Orbitador: 3175 kg

	?	con propelente Rover Zhurong: 240 kg
JUICE	4800 / 1900	Orbitador de Júpiter (lanzamiento 2022)
ExoMars Trace Gas Orbiter	4332 / ?	Orbitador: 3755 kg Aterrizador Schiaparelli EDM: 577 kg
Bepi-Colombo	4100 / 2700	MPO: 1150 kg Mio: 275 kg
Mars Science Laboratory / Curiosity	3893 / 3464	Etapa crucero: 539 kg Etapa descenso: 2401 kg con 390 kg de propelente Rover Curiosity: 899 kg
Mars 2020 / Perseverance	3649 / 3210	Etapa crucero: 539 kg Etapa descenso: 2085 kg con 400 kg de propelente Rover Perseverance: 1025 kg Ingenuity: 1,8 kg
Chang'e-3 y 4	3800 / ?	Rover Yutu: 140 kg Aterrizador: 1200 kg con propelente
Juno	3625 / 1593	Orbitador de Júpiter
Viking 1 y Viking 2	3530 / 1455	Orbitador: 883 kg Aterrizador: 572 kg
Rosetta	2900 / 1230	Aterrizador Philae: 100 kg
Galileo	2562 / 1880	Sonda de descenso: 340 kg

Tabla con los pesos (total y seco, en nuestro planeta) de las sondas más grandes de la historia. El orden depende de muchos factores, así que en principio

están ordenadas por peso total con propelentes e incluyendo las distintas sondas y subsistemas que puedan llevar. No incluye observatorios espaciales. En caso de duda consulte con su divulgador espacial.
Tabla: elaboración propia.

Y en la lista de las sondas más pesadas no nos podemos olvidar de otras muy importantes. Entre ellas está la sonda marciana china Tianwen-1, con un peso total de 5000 kg, incluyendo el combustible, un rover de 240 kg y un orbitador de 3175 kg. También tenemos al orbitador marciano ExoMars TGO de la ESA con un peso total de 4332 kg (todo incluido), el dúo Bepi-Colombo con 4100 kg, contando los dos orbitadores, la etapa de transporte y el combustible, y podemos contar a los rovers Curiosity y Perseverance, que pesan 899 y 1025 kg, respectivamente, pero que con etapas de crucero y descenso llegan a los 3800 kg.

¿Cuándo se puede lanzar una sonda? Las ventanas de lanzamiento

Como hemos visto, en el espacio nada está quieto ni un solo instante, todo se mueve sin parar, con todos los planetas girando alrededor del Sol y además girando sobre sí mismos. Por tanto, el lanzamiento de una sonda no es algo que se pueda hacer cualquier día, a cualquier hora. Lo que intentaremos siempre es que nuestra nave se dirija a su objetivo, que coincida con ese objetivo en su órbita, que lo haga en el menor tiempo posible y además de la forma en la que necesite la menor energía posible, utilizando una órbita de Hohmann. En astronáutica todo esto se consigue a base de realizar complejos cálculos matemáticos que tienen en cuenta las posiciones y movimientos de la Tierra, las del mundo que es el objetivo de la misión, el peso y características de la sonda y la potencia del cohete. Con los resultados de estos cálculos, tendremos en el calendario algunos días en los cuales es posible realizar el lanzamiento. Si lanzamos la misión fuera de este margen, jamás lograremos que nuestra sonda llegue a su mundo de destino, porque llegará antes de tiempo o después. A este intervalo de fechas en los cuales la misión podrá despegar se le conoce como «periodo de lanzamiento». Estos periodos suelen ser de algunos días o semanas alrededor de una fecha central óptima. En los extremos de ese periodo el lanzamiento es posible, pero la misión podría ir justa de propelentes y con poco margen de maniobra, tanto del cohete como de la propia sonda. Si por algún problema en la sonda o en el cohete no se pudiera realizar el lanzamiento dentro de su ventana, la misión tendría que esperar hasta la siguiente ventana, que podría ser meses o años después.

Un ejemplo habitual para los periodos de lanzamiento lo tenemos en las misiones de sondas a Marte. Nuestro planeta tarda un año en dar la vuelta al Sol y Marte hace lo mismo en un año y diez meses (22 meses). Si partimos de una posición en la cual los

dos planetas están «juntos» (lo más cercanos posibles, cada uno en su órbita), al cabo de un año la Tierra volverá a estar en el mismo sitio, pero a Marte todavía le quedarán 10 meses para llegar al mismo punto, ya que va más lento al viajar en una órbita exterior y más grande respecto a la de la Tierra. Para cuando Marte llegue a ese punto de partida diez meses más tarde, la Tierra se habrá desplazado casi una órbita completa más. Como la Tierra gira más veloz que Marte, volverá a alcanzar al planeta rojo una vez pasados 26 meses (2 años y 50 días) desde que coincidieron. Por tanto, cada 26 meses ambos planetas están en la situación más óptima para enviar las misiones a Marte, aprovechando que se encuentra más cerca de la Tierra, en la llamada «oposición de Marte». Como un viaje al planeta rojo dura entre 7 y 10 meses (en función del peso de la sonda y el cohete usado), si nos esperamos a lanzar la sonda justo cuando la distancia sea la menor, nos encontraremos realizando todo el resto del viaje mientras la distancia entre los planetas va aumentando.

Órbita de transferencia de la Tierra a Marte para la misión InSight. En el momento del lanzamiento (*Earth*

at launch) podemos observar cómo la sonda no va directa hacia donde se encuentra Marte (*Mars at launch*), sino donde se encontrará meses después (*Mars at arrival*), todo ello alrededor del periodo de mayor cercanía entre ambos planetas. Las marcas «TCM» indican «maniobras de corrección de la trayectoria», que son pequeños ajustes en la dirección de la sonda para ir afinando el momento y lugar de la llegada a Marte. Imagen: JPL/NASA.

Así pues, los lanzamientos se realizan entre dos y cuatro meses antes de la máxima aproximación, para que el viaje completo se realice con la menor distancia posible entre ambos mundos. Las últimas oposiciones de Marte tuvieron lugar en abril de 2014, mayo de 2016, julio de 2018 y octubre de 2020. Las siguientes serán en diciembre de 2022, enero de 2025 y febrero de 2027. Y como la órbita de Marte es algo excéntrica, no todas las oposiciones son iguales, por lo que en ocasiones estos encuentros son más cercanos y permiten misiones que invierten menos tiempo en llegar al planeta rojo. Como ejemplos de fechas en las cuales se han enviado las últimas sondas a Marte tenemos: en noviembre de 2013 para MAVEN y MOMA, en marzo de 2016 para ExoMars TGO, en mayo de 2018 para InSight y en julio de 2020 para Hope, Tianwen-1 y Perseverance. Si nos fijamos, todas se han lanzado unos meses antes de la mayor aproximación, para conseguir que el vuelo hacia Marte transcurriera alrededor de las fechas de la oposición y con el viaje lo más corto posible.

Pero aquí no acaba la historia, porque como nuestro planeta gira sobre sí mismo, eso lo tendremos que aprovechar al máximo. Imaginemos que somos unos lanzadores de peso en los Juegos Olímpicos. Cogemos nuestra bola, la colocamos pegada al cuello y en ese momento comenzamos a girar sobre nosotros mismos mientras avanzamos dando vueltas. Si soltamos la bola antes o después de tiempo, irá a estrellarse contra la malla protectora que nos rodea. Si la soltamos justo en la dirección adecuada, la bola podrá

volar hasta llegar a su destino. Justo eso es lo que hacemos con las sondas, no tiene sentido lanzarlas cuando estamos apuntando hacia otra parte, sino cuando sabemos que tomará la dirección correcta. Esto es lo que en astronáutica se llama la «ventana de lanzamiento», un intervalo de tiempo que tenemos cada día durante las semanas que duran los periodos de lanzamiento, en los cuales es posible lanzar la misión. O en nuestro caso unas décimas de segundo en cada vuelta sobre nosotros, si no queremos lanzarla a la red. Si un día una sonda no puede lanzarse por cuestiones meteorológicas o por algún fallo en el cohete, se podrá usar la ventana de lanzamiento del día siguiente y así hasta que acabemos con todo el periodo de lanzamiento. Si esto llega a pasar, la sonda deberá almacenarse hasta que pueda ser lanzada 26 meses después, en el caso de las misiones a Marte.

La ventaja de la Tierra respecto al lanzador de peso es que una vez lanzada, la sonda puede mantenerse en órbita alrededor de nuestro planeta el tiempo que necesitemos, antes de realizar un último encendido del motor que ponga rumbo a Marte. Esto se usa en muchas ocasiones en las cuales la sonda se pone primero en una órbita de «aparcamiento» temporal alrededor de la Tierra. Tras esperar a que llegue a la posición correcta, se enciende el motor de la última etapa del cohete y la sonda sale de la órbita terrestre para dirigirse hacia el planeta rojo, aprovechando mejor la velocidad orbital y permitiendo un cierto margen una vez en órbita. El resto de planetas también tienen sus momentos más favorables para realizar los lanzamientos. Para Mercurio ocurren cada 3-4 meses, a Venus ocurren cada 19 meses y para Júpiter y el resto de planetas del sistema solar exterior ocurren cada 13 meses. Estos 13 meses tienen su explicación: si la Tierra y Júpiter coinciden en un momento dado, al cabo de 12 meses nuestro planeta estará en el mismo sitio, pero Júpiter se habrá desplazado solo un poco, por lo que la Tierra necesita un mes más para alcanzarlo de nuevo.

La escala de distancias y tiempos en el sistema solar

El sistema solar es un lugar enorme, realmente enorme. Para tener una idea de los tamaños de los que estamos hablando, tomaremos como referencia tres formas distintas de viajar hasta nuestro destino: usando un coche a una velocidad máxima de 120 km/h, montados en un avión a una velocidad de 900 km/h y viajando a la velocidad de la luz, con sus insuperables 300 000 km/s. Nuestra vecina más cercana, la Luna, se encuentra a una distancia de 380 000 kilómetros. Para llegar hasta allí en un hipotético viaje en coche en línea recta (evitando los peajes y respetando las señales de tráfico), invertiremos unas 3170 horas, lo que equivale a 132 días de paseo. En un avión comercial ese trayecto se reduce a unas discretas 422 horas, lo que equivale a 17,6 días. Y todo ello calculado en línea recta, aunque ya sabemos que las órbitas reales son curvas que nos permiten llegar desde un punto hasta otro, pero recorriendo una distancia mucho mayor que la línea recta. Las famosas misiones Apolo a la Luna tardaron un total de 75 horas en llegar a nuestro satélite, recorriendo en su órbita de ida un total de 400 000 km. Por su parte, un rayo de luz que enviemos a la superficie lunar tardaría 1,3 segundos en llegar, por eso es posible comunicarse con los astronautas en la Luna en tiempo real, ya que el retraso de la señal es casi imperceptible.

Si ahora queremos hacer una visita a nuestro Sol, lo primero que debemos saber es que se encuentra a una distancia media de 149 600 000 kilómetros. La veloz luz recorre ese trayecto en poco más de 8 minutos, así que en realidad siempre vemos el Sol como era hace 8 minutos. Si intentamos llegar a nuestra estrella en coche, nos llevaría la escandalosa cantidad de 52 000 días, el equivalente a 142 años. Para un avión, el trayecto sería de tan solo unos escalofriantes 6926 días o 19 años, todo ello sin contar el tiempo de embarque. Como vemos, las distancias en el sistema solar nos van

a dar unos números muy grandes, por lo que en astronomía se usa la unidad astronómica (UA). Esta UA es la media de la distancia desde la Tierra a nuestra estrella, casi 150 millones de kilómetros. Por tanto podemos decir que nuestro Sol está a 1 UA.

Objeto	Distancia media desde el Sol (en UA)	Tiempo que tardan las señales de radio
Mercurio	0,39	5-11 minutos
Venus	0,72	2-14 minutos
La Tierra	1	--
La Luna	0,0025 (desde la Tierra)	1,3 segundos
Marte	1,52	3-21 minutos
Cinturón de asteroides	2-4	8-40 minutos
Júpiter	5,20	33-53 minutos
Saturno	9,58	1,19-1,43 horas
Urano	19,23	2,53-2,79 horas
Neptuno	30,10	4,03-4,29 horas
Plutón	39,3	5,37- 5,6 horas
Cinturón de Kuiper	30-50	6,92 horas
Nube de Oort	5000-100 000	1,5 años

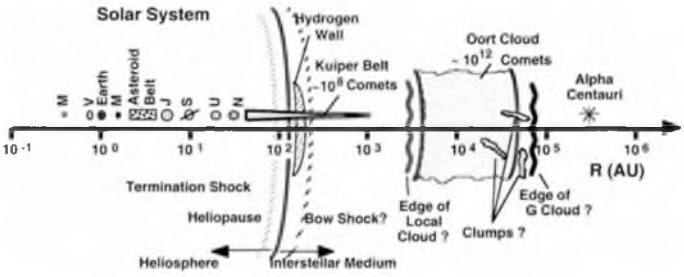
Tabla con distintos cuerpos del sistema solar, su distancia media al Sol y el tiempo que invierte una señal de radio a la velocidad de la luz en llegar hasta ellos. Tabla: elaboración propia.

Así, de esta manera, podemos decir que Venus está a 0,72 UA del Sol, Marte se encuentra a 1,52 UA y Saturno a 9,58 UA. El lejano Plutón está a 39,3 UA del Sol, que serían unos 5 879 280 000 km, de ahí que sea más fácil hablar con unidades astronómicas. Para no ponerme pesado con los números, debes saber que el viaje en coche a Plutón nos llevaría unas 49 millones de horas (¡5600 años!), en avión tardaremos 6,5

millones de horas (745 años) y a la velocidad de la luz llegamos en unas 5 horas y media. Dada la órbita tan excéntrica de Plutón, en el momento del sobrevuelo de New Horizons estaba a 4860 millones de kilómetros de nosotros y su señal tardaba 4,5 horas en llegar a nuestro planeta. Cualquier comunicación desde la Tierra hacia esta sonda llevaría 4 horas y media para que la señal la alcanzara y luego habría que esperar otras 4 horas y media para que la respuesta llegara a las antenas en la Tierra. Cuando la humanidad viaje por el sistema solar exterior, las comunicaciones serán básicamente monólogos en los cuales se les contará todo lo que necesiten saber y esperaremos unas cuantas horas para conocer la respuesta. Para las misiones en Marte, la señal tarda entre 3 y 21 minutos en llegar a nuestro planeta, dependiendo de si el planeta rojo está en oposición (cerca de nosotros) o en conjunción (alejado de nosotros en la otra parte del sistema solar).

Una vez pasados los planetas, nos encontramos el Cinturón de Kuiper, que es una especie de segundo cinturón de asteroides que rodea al Sol, pero mucho más grande y lejano, formado por algunos restos de la creación del sistema solar y con planetas enanos como Plutón o Haumea. Muchísimo más lejana tenemos la Nube de Oort, una enorme esfera que rodea por completo el sistema solar, formada por los restos de la formación de nuestro sistema. Este es el lugar de donde proceden los cometas que se acercan al Sol, donde se estima que podrían existir decenas de billones de cometas. Esta región podría extenderse hasta las 100 000 UA, que equivalen a la sideral cifra de 1,58 años luz, siendo el año luz la siguiente unidad de distancia utilizada en astronomía para evitar las cifras enormes. En este caso, la unidad de distancia se basa en el tiempo que necesita la luz para recorrerla. Por tanto se puede decir que la Luna está a 1 segundo luz, Marte está a 15 minutos luz, Neptuno está a poco más de 4 horas luz y la Nube de Oort llega hasta los 1,5 años luz. Próxima Centauri es la estrella más cercana

a nosotros y se encuentra a una distancia de 4,22 años luz. Como vemos, la influencia gravitatoria del Sol llega con fuerza a una región que ya se encuentra a una cuarta parte de la distancia de la estrella más cercana. Así pues, aunque estemos en el espacio profundo y muy alejados de cualquier cuerpo celeste, siempre hay gravedad que nos afectará y que será la que dicte cómo será nuestra órbita.



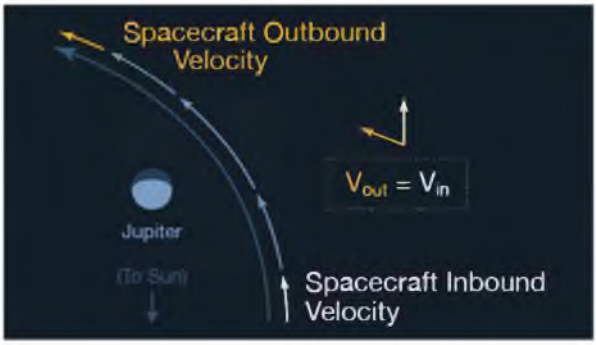
Esquema logarítmico del sistema solar. Las unidades de distancia están en unidades astronómicas (UA) y cada marca es 10 veces mayor que la anterior (0.1, 1, 10, 100, 1000, 10 000, 100 000 y 1 000 000 de UA). Imagen: NASA.

Las asistencias gravitatorias, o cómo acelerar gratis en un planeta

Imaginemos que tenemos una cama elástica. Ahora nos situamos en el suelo a su lado y tiramos una pelota de tenis rodando, para que la recorra de lado a lado. En principio la pelota debería salir justo por el lado opuesto a nosotros, porque nada le ha impedido avanzar o le ha hecho cambiar su rumbo. Si ahora la parte central de la cama elástica la atamos al suelo con una cuerda, nos quedará una pequeña depresión o agujero en el centro. Pues bien, ese centro deformado hacia abajo representa ahora un planeta y la pelota de tenis será la sonda que lo sobrevuele. Si volvemos a tirar la pelota para que pase cerca del centro, veremos cómo su trayectoria recta se tuerce y se desvía hacia un lado al sobrepasar el «planeta». Si la tiramos de nuevo algo más cerca, veremos que la desviación es mucho mayor. Y si, por el contrario, la tiramos muy lejos del centro, casi no se verá afectada por el agujero. Pues de forma muy parecida es cómo funcionan los llamados «sobrevuelos», «*flyby*» o «maniobras de asistencia gravitatoria» en el sistema solar. Estas maniobras nos permiten llegar de una forma más efectiva y veloz a cualquier lugar del sistema solar, que simplemente realizando las órbitas de Hohmann. Estas maniobras de asistencia gravitatoria fueron desarrolladas por el ingeniero Michael Minovitch cuando era un estudiante recién graduado de la Universidad de UCLA y estaba realizando sus prácticas de verano en el JPL a comienzos de los años sesenta.

Cuando una sonda sobrevuela un planeta, el Sol o un satélite natural, su velocidad y trayectoria se verán afectadas de alguna manera, al igual que en el ejemplo de la cama elástica. La intensidad de la perturbación sufrida dependerá sobre todo del tamaño del objeto sobrevolado, de la distancia a la que lo sobrevuele y en menor medida de la velocidad del encuentro. Es decir, que el sobrevuelo afectará más a la trayectoria de la sonda cuando el objeto

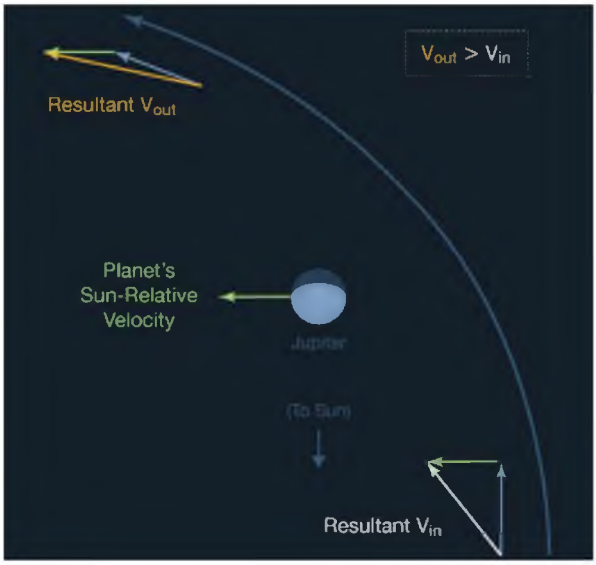
sobrevolado sea mayor, mientras más se acerque en el sobrevuelo y mientras más lento lo sobrevuele. Imaginemos qué le ocurre a una sonda que pasa muy cerca de un planeta. Tenemos una sonda que viaja a su bola por el espacio vacío a una cierta velocidad y de pronto se aproxima a un planeta, por lo que en ese momento comenzará a sentir su gravedad. De esta manera, la sonda comenzará poco a poco a acelerarse y a desviar algo su trayectoria hacia el lugar donde se encuentra el planeta. Conforme nos acercamos, la gravedad será mayor y la velocidad se incrementará, de forma que la sonda alcanzará su máxima velocidad en el momento en el cual pase lo más cerca del planeta. Tras superarlo, poco a poco lo irá dejando atrás y como resultado la sonda se irá frenando, ya que el planeta la sigue atrayendo hacia él. Por tanto, una sonda que sobrevuele un planeta gana velocidad al acercarse y la pierde al alejarse en la misma proporción. Si esto es así, en principio no parece que sea una ventaja sobrevolar un planeta para ganar velocidad, sino tan solo para cambiar su trayectoria. Esta aparentemente lógica, pero incorrecta conclusión, hizo que en principio no se prestara mucha atención a este tipo de trayectorias teóricas en la prehistoria de la carrera espacial.



Si yo me acerco a un planeta, mi trayectoria se deforma. Pero si me fijo en mi velocidad, al acercarme aumentará debido a la gravedad del planeta, pero al alejarme la voy a perder también debido a la

gravedad del planeta. Se podría pensar que no gano velocidad, pero me estaré equivocando. Esto sería así solo en el caso de que el planeta sobrevolado estuviera quieto en el espacio. Imagen: NASA.

Un análisis más detallado nos sacará de nuestro error. Efectivamente, visto desde el punto de vista del planeta, la velocidad de la sonda es la misma en su acercamiento y en su alejamiento, no cambia nada. Pero el planeta no está quieto en el espacio, sino que se está desplazando en su órbita alrededor del Sol, por lo que si una sonda pasa «por detrás» del planeta durante el sobrevuelo, sufrirá un efecto de «arrastre». Como resultado del sobrevuelo, la sonda aumenta su velocidad respecto al Sol, al sumarle la velocidad que lleva el propio planeta (cortesía de lo que se llama en física el «momento angular», por lo que en realidad deberían llamarse «maniobras de asistencia de momento angular»). Para comprenderlo mejor, podemos imaginarnos un ejemplo con patinadores de hielo. Tenemos un patinador que va en línea recta por en medio de la pista de hielo y otro se le acerca por detrás poco a poco. Si en ese momento nos agarramos un instante a su espalda y seguimos nuestro camino, al estar moviéndose con cierta velocidad, nos habrá proporcionado un impulso extra y por tanto aumentaremos la nuestra. O por ejemplo, si vamos en bicicleta y nos agarramos unos instantes a un camión de la basura que pasa a nuestro lado (¡no lo hagáis en casa!), su desplazamiento provocará que nosotros podamos ir un poco más deprisa.

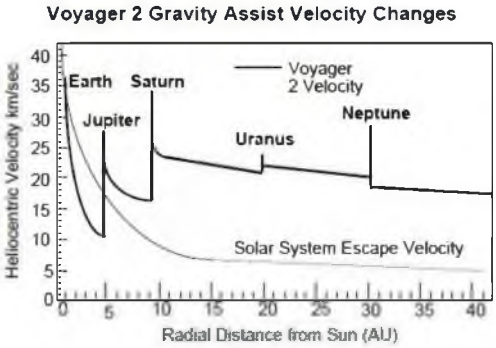


Cuando sobrevolamos un planeta «por detrás», a nuestra velocidad le vamos a sumar la que lleva el planeta alrededor del Sol, como si nos hubiéramos «enganchado» a él. Por tanto, además de cambiar nuestra trayectoria, la velocidad final es mayor. Imagen: NASA.

Pero también podemos intentar sobrevolar el planeta «por delante», es decir, justo por donde va a pasar unos instantes después. En ese caso, lo que ocurre es que la velocidad final se reduce, ya que no aprovechamos su propio desplazamiento y, sin embargo, nos frenará con más fuerza una vez sobrepasado. Esta técnica de frenado se usa cuando queremos viajar a planetas interiores como Venus y Mercurio, o cuando llegamos a un planeta y queremos quedarnos orbitando su alrededor, para lo cual podemos frenar con nuestro motor y pasaremos por delante del planeta para perder algo de nuestra velocidad.

Este tipo de trayectorias ya han sido usadas en numerosas ocasiones en la exploración espacial. Durante las misiones de muchas sondas, es habitual leer que la sonda Voyager o la sonda Cassini han

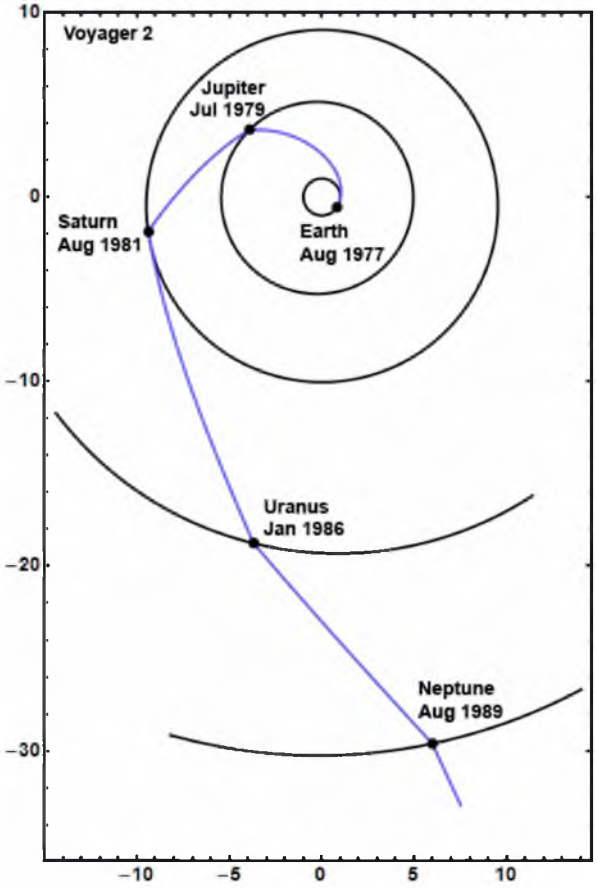
hecho sobrevuelos (*flybys*) o asistencias gravitatorias para acelerar hacia su destino o para cambiar su trayectoria.



Fíjate en la línea gruesa. Este gráfico representa la velocidad de la sonda Voyager conforme ha ido recorriendo el sistema solar. Vemos que al partir de la Tierra (*Earth*) la velocidad respecto al Sol era de unos 36 km/s. Nada más dejar la Tierra la velocidad cae en picado ya que la sonda intenta salir hacia el exterior del sistema solar, pero la gravedad del Sol la va frenando en su huida. De pronto la velocidad aumenta al llegar a Júpiter de 11 a 28 km/s (por el tirón de gravedad del planeta), pero al alejarse pierde de nuevo velocidad de 28 a 17 km/s (porque el planeta frena la sonda que se aleja). Sin embargo, podemos comprobar cómo en todos los sobrevuelos, la velocidad al superar el planeta es mayor que la que tenía al llegar, como en Júpiter, que entró con 11 y salió con 17 km/s. Todos excepto Neptuno, que sale con menos velocidad, al sobrevolarlo «por delante» para cambiar su trayectoria. Imagen: JPL/NASA.

La primera vez que se puso a prueba esta teoría fue en 1973 para la misión del Mariner 10, que sobrevoló Venus para disminuir su velocidad y poder alcanzar el planeta Mercurio. Sin embargo, el ejemplo más conocido es el de la sonda Voyager 2, que sobrevoló Júpiter para llegar a Saturno, que a su vez le permitió llegar a Urano y que a su vez le permitió llegar a

Neptuno. Esta mítica sonda fue lanzada de la Tierra a Júpiter siguiendo una trayectoria de Hohmann, la más básica y económica. Una vez sobrevolado el planeta, conseguiría un impulso y un cambio de trayectoria que la llevaría hasta Saturno, para hacer allí un nuevo sobrevuelo que la impulsaría hacia Urano y para hacer otro sobrevuelo que la dirigió a Neptuno.



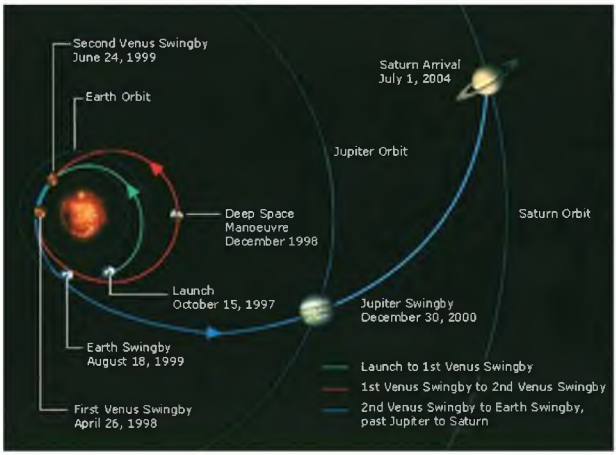
La carambola cósmica de la Voyager 2, gracias a la asistencia gravitatoria. Esta alineación de planetas y el ingenio de muchas personas en la NASA permitió a la nave visitar los 4 planetas gigantes en solo 12 años, el viaje más asombroso jamás realizado. Imagen: JPL/NASA.

Tras sobrevolar este planeta perdió velocidad,

porque interesaba esa trayectoria para estudiar varias de sus lunas y después dirigirse hacia el exterior del sistema solar. Una carambola de ese tipo no es algo habitual. De hecho, al encontrarse estos cuatro planetas en órbitas diferentes, los cuales llevan cada uno su propio ritmo, la coincidencia que permitía aprovechar cada uno de ellos para llegar al siguiente solo ocurre una vez cada ¡178 años! Si la NASA no hubiera acabado las sondas a tiempo para lanzarlas en 1977, tendríamos que haber esperado hasta el 2155 para tener otra misión similar. ¡Gracias, Minovitch! Para que veamos la importancia de estos sobrevuelos en el aumento de velocidad de las sondas, si cuando se lanzó la Voyager 2 no se hubiera encontrado con Júpiter, la sonda no habría tenido la velocidad suficiente como para proseguir su viaje y habría acabado en una órbita eterna que la llevaría entre la órbita de la Tierra y un poco más allá de la órbita de Júpiter. Y, además, redujo el tiempo de viaje al resto de los planetas a menos de la mitad. ¿Qué más se le puede pedir?

¿Cuánto tardan las sondas en llegar a sus destinos?

Ya sabemos cuándo hay que lanzar una sonda, lo enorme que es el sistema solar y qué técnicas podemos usar para aumentar la velocidad de la nave. Pero ¿cuánto tardan las sondas en llegar a sus destinos en el sistema solar? La respuesta no es sencilla puesto que no viajan en línea recta, sino en órbitas de transferencia de Hohmann. Y a veces van directas al destino y otras veces realizan antes uno o varios sobrevuelos. Además, las posiciones de los planetas van cambiando con el tiempo, tenemos unas sondas con más masa que otras y también los cohetes usados son de distinta potencia. Por tanto no se pueden dar unas cifras exactas, pero sí que podemos ver de forma aproximada lo que han tardado algunas de las sondas más históricas. Si revisamos el tiempo medio empleado por las sondas para llegar a Júpiter de forma directa, vemos que varía entre los 18 meses que tardó la Voyager 1 y los 23 meses de la Voyager 2. A pesar de ser dos sondas gemelas lanzadas por un cohete similar, la Voyager 2 tomó una órbita más larga para poder llegar luego al resto de sus destinos. Sondas más recientes y grandes como Galileo, Cassini y Juno han tardado entre 3 y 6 años, ya que su peso era tan grande que los cohetes no podían enviarlas de forma directa y tuvieron que realizar sobrevuelos por otros planetas, para adquirir la velocidad suficiente y poder llegar así a su destino. Si nos fijamos ahora en el tiempo de vuelo hasta Saturno, vemos que ronda entre los 3 años de la Voyager 1 (que solo pasó antes por Júpiter para acelerarse) y los casi 7 años de la Cassini.



Trayectoria de Cassini para llegar a Saturno. Tras salir de la Tierra voló 6 meses hasta realizar un sobrevuelo de Venus y 14 meses más tarde lo volvió a sobrevolar por segunda vez. Dos meses después pasó por la Tierra y puso rumbo a Júpiter, donde llegaría a los 16 meses. Otros 3 años y medio más tarde llegó a Saturno, en un viaje de casi 7 años. Imagen: NASA.

Veamos el ejemplo de la gigantesca sonda Cassini. Para enviar esta gran nave hasta Saturno, la NASA utilizó el mayor cohete disponible en ese momento, el Titan IV. Incluso con su gran potencia, el Titan IV no tenía la suficiente capacidad como para proporcionarle a Cassini una velocidad de 15,7 km/s, que le permitiera llegar a su destino realizando una órbita de transferencia de Hohmann entre ambos planetas. Por esta razón, se diseñó una compleja trayectoria que llevaría a Cassini a sobrevolar Venus en dos ocasiones y la Tierra y Júpiter en una ocasión. De esta manera, la nave adquirió «gratis» una velocidad extra de 2 km/s que necesitaba para poder situarse en una órbita que la llevara hasta Saturno. El peaje consistió en tener que realizar una trayectoria de casi 7 años, en lugar de los 4 años que le hubiera llevado una trayectoria directa o solo pasando por Júpiter. En el tiempo empleado para el viaje, también hay que tener en cuenta el tipo de misión. Así, las parejas de sondas Pioneer y Voyager tenían como

objetivo sobrevolar estos gigantes gaseosos. Pero otras sondas como Galileo, Juno y Cassini debían quedarse orbitando Júpiter o Saturno, por lo que no podían llegar a sus destinos a altas velocidades, ya que luego necesitarían demasiado combustible para frenar. Por tanto, sus órbitas debían ser más amplias y lentas, lo que implicaba unos viajes de mayor duración.

Sonda	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno	Plutón
Pioneer 10	1,75 (D)	--	--	--	--
Pioneer 11	1,66 (D)	6,33 (S)	--	--	--
Voyager 2	1,91 (D)	4 (S)	8,41 (S)	12 (S)	--
Voyager 1	1,50 (D)	3,16 (S)	--	--	--
Galileo	6,16 (S)	--	--	--	--
Cassini	3,16 (S)	6,75 (S)	--	--	--
New Horizons	1,08 (D)	--	--	--	9,50 (S)
Juno	4,91 (S)	--	--	--	--

Tiempo en años de la llegada a sus destinos de todas las sondas que han explorado el sistema solar exterior. D = vuelo directo, S = ha sobrevolado antes otro/s planeta/s. Tabla: elaboración propia.

Si hablamos ya del tiempo necesario de vuelo para llegar a los últimos planetas del sistema solar, la cosa se pone muy seria. Enviar una sonda hasta Urano siguiendo una órbita de Hohmann nos llevaría unos 18 años, y para llegar hasta Neptuno se necesitan 34 años. Realizar una misión a estos planetas requiere unos periodos de vuelo tan largos que los convierte en objetivos casi inalcanzables, puesto que necesitamos construir sondas que duren al menos todo ese tiempo. Además serán misiones cuya gestión y estudio de resultados no serán realizados por las personas que las diseñaron y construyeron, sino por las que ocupen

sus cargos algunas décadas después. Sin embargo, ya hemos enviado a la sonda Voyager 2 hasta esos dos planetas, necesitando «solo» 8 años y medio en llegar hasta Urano y a los 12 años ya estaba sobrevolando Neptuno. ¿Dónde está el truco? Pues la clave está en las asistencias gravitatorias, ya que gracias a los sobrevuelos anteriores de Júpiter y Saturno la sonda Voyager 2 aumentó considerablemente su velocidad. Esto permitió reducir el tiempo de vuelo a menos de la mitad y sin gastar una sola gota de propelentes. Pura magia orbital.

El aerofrenado, o cómo frenar gratis en un planeta

Imaginemos que nuestra sonda va a toda velocidad por el espacio y nos aproximamos al planeta de destino. En ese momento, la gravedad del planeta hará que aumente más nuestra velocidad, pero si lo que queremos es quedarnos en órbita tenemos un problema. A la velocidad que viajamos, lo más probable es que lo sobrepasemos de largo, por lo que la mayoría de las sondas necesitan realizar maniobras para frenar. En esas maniobras, llamadas maniobras de inserción orbital (MOI), la sonda enciende su motor en la dirección de avance para perder velocidad y de esta forma quedar atrapada por la gravedad del planeta. Este método es muy efectivo, pero deja a la sonda en una órbita muy elíptica y la mayoría de las veces menos útil para la misión. Por tanto, la sonda debe encender en numerosas ocasiones su motor para realizar frenados y conseguir una órbita circular sobre el planeta. Esto hace que el depósito de propelentes para las maniobras tenga que ser enorme y en muchas ocasiones eso es inviable. Para solucionar esto, las agencias espaciales usan desde hace décadas una técnica de «frenado atmosférico», que les permite disminuir la velocidad de una sonda sin necesidad de usar más combustible. En su lugar utilizan un recurso gratis del planeta: su atmósfera. Para ello, una sonda que se dirija a un planeta (con atmósfera, evidentemente) como Venus o Marte, podrá realizar varios sobrevuelos cercanos a su superficie, para ir disminuyendo su velocidad por fricción con la atmósfera. Esto es un proceso lento que se realiza muy poco a poco y que tras unos cuantos meses permite conseguir la órbita deseada. El principio es similar al que podemos sentir si vamos en un coche y sacamos la mano por la ventanilla, cuando notamos que nuestra mano tiende a irse hacia atrás, debido al rozamiento con el aire. Esa idea, extrapolada a sondas que se desplazan a altas velocidades y que entran en rozamiento con la atmósfera de un planeta, nos va a permitir frenar.

Desde luego este sistema tiene sus riesgos, que serán mayores mientras menos detalles conozcamos de la atmósfera en cuestión. Antes de realizar una maniobra de este tipo, es necesario conocer lo mejor posible cuál es el perfil vertical de densidad que tiene la atmósfera, desde la superficie hasta capas muy altas. Si conocemos la densidad a unas ciertas alturas, podremos calcular cuál es la altura mínima a la que puede llegar esa sonda con seguridad. Si una sonda penetra demasiado en una atmósfera, corre el peligro de que el rozamiento haga que algunas de sus partes más delicadas y expuestas se puedan dañar e incluso romperse en el sobrevuelo. Si el sobrevuelo es demasiado alto será más seguro, pero mucho menos efectivo, por lo que necesitamos repetirlo una gran cantidad de veces. Por tanto, si se diseña una misión y se comprueba que le será imposible alcanzar la órbita deseada y por exceso de peso no se le puede añadir un frenado con motor, entonces se puede pensar en el uso de esta técnica. En ese momento habrá que diseñar todo el proceso de frenado, teniendo en cuenta las características de la atmósfera, el tamaño y la forma aerodinámica de la sonda, y finalmente calcular cuántos sobrevuelos serán necesarios para adquirir la órbita final de trabajo.

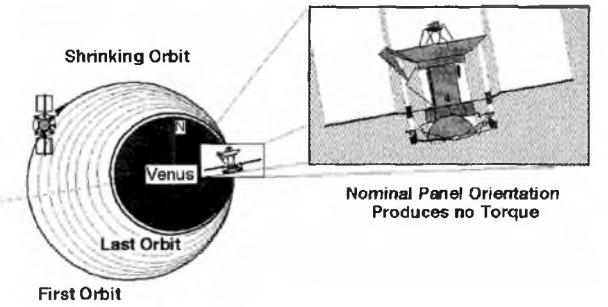
Imaginemos que una sonda llega a Marte y tras frenar con su motor adquiere una órbita elíptica que la aleja hasta los 5000 km (apoastro) y la acerca hasta los 200 km (periastro). Si se hace una maniobra con el motor para que el periastro baje a unos 170 km, la sonda empezará a sentir el rozamiento con las capas altas de la atmósfera y perderá velocidad. Por este motivo, ahora la sonda es más lenta y no podrá alejarse de nuevo hasta los 5000 km, sino que llegará como mucho a los 4900 km, logrando un descenso de 100 km en el apoastro. Puede parecer poco, pero si esta operación se repite durante varias semanas o meses, al final la sonda puede quedar en una órbita mucho más circular y a la altura que interese para la misión. De esta manera habrá consumido algo de

tiempo, pero nada de propelentes. Debido a la alta fricción que se produce en estos encuentros, la temperatura de las zonas expuestas de la nave aumenta. Para evitar problemas, la sonda se orienta de forma que ninguna parte delicada pueda dañarse, e incluso los paneles solares se exponen para que el rozamiento se realice con la parte posterior, que no tiene las células solares.

Aunque la teoría se conoce muy bien desde hace décadas, hasta finales de 2021 tan solo siete sondas han utilizado esta técnica: una de Japón (Hiten), dos de la ESA (Venus Express y Trace Gas Orbiter) y cuatro de la NASA (Magallanes, Mars Global Surveyor, Mars Odyssey y Mars Reconnaissance Orbiter). De todas ellas, tres la han realizado de forma experimental (Hiten, Magallanes y Venus Express) y cuatro como parte de su misión (Mars Global Surveyor, Mars Odyssey, Mars Reconnaissance Orbiter y Trace Gas Orbiter). La primera sonda en probar esta técnica fue la sonda lunar japonesa llamada **Hiten**. En una de sus numerosas órbitas entre la Tierra y la Luna, la sonda sobrevoló nuestro planeta el 19 de marzo de 1991 a una altura de solo 125 km sobre el océano Pacífico. En ese momento Hiten viajaba a una velocidad de 11 km/s y consiguió un frenado de 1,7 km/s, lo que bajó el apogeo en 8600 km. Dado el éxito de la operación, se repitió un segundo aerofrenado el 30 de marzo.

La segunda sonda en realizar aerofrenado, y la primera en hacerlo durante una misión, fue la **Magallanes** de la NASA, que llegó a Venus el 10 de agosto de 1990. Tras frenar usando su motor, quedó en una órbita elíptica de 295 x 7762 km. Durante su misión principal, la sonda usaba la parte baja de su órbita para estudiar el planeta con un radar y la parte alta para enviar los datos a nuestro planeta. Una vez cumplidos todos los objetivos de la misión, la NASA envió comandos a la nave para que bajara su periapsis y por tanto comenzara una novedosa fase de aerofrenado. Esto le permitiría bajar su apoapsis hasta unos 300 km, para adquirir una órbita circular y

realizar mediciones de la gravedad en cada región del planeta con mucha más precisión. Esta fase de frenado se realizó entre el 24 de mayo y el 2 de agosto de 1993, periodo en el cual la nave comenzó a sobrevolar Venus a una altura de 180 km y bajando el apoapsis hasta llegar a los 540 km, lo cual se consideró que era suficiente para seguir con la misión. Cada uno de estos sobrevuelos sirvió para hacer algo más de ciencia (en el espacio no se desperdicia ninguna ocasión), ya que se comparaba el aerofrenado previsto con el que realmente se producía. Estos datos permitían refinar el siguiente sobrevuelo y de paso conocer mejor las características de la atmósfera a esa altura.



Disminución de la órbita de Magallanes gracias al aerofrenado. Imagen: JPL/NASA.

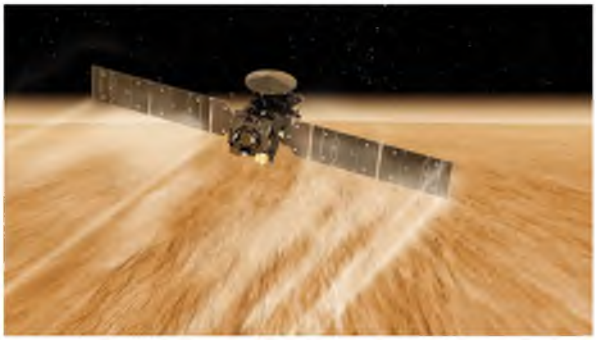
Fue tan interesante el resultado de esta fase que la misión pasó sus últimos meses de vida realizando el experimento Windmill («Molino de viento»), en el que se usarían los paneles solares de Magallanes como las velas o paletas de un molino. Esta fase tuvo lugar entre el 6 y el 14 de septiembre de 1994, cuando se bajó aún más la altura de la órbita hasta unos 150 km. En esta fase, la nave entraba en la atmósfera con los paneles solares perpendiculares y un poco inclinados respecto a su trayectoria, quedando completamente expuestos a las moléculas de la atmósfera y haciendo girar a la sonda como un molino de viento espacial. En esos momentos, las toberas (motores) de la nave se

encendían para contrarrestar ese giro y mantener a la sonda estable. Conociendo la potencia necesaria para equilibrar el movimiento, se podía deducir la fuerza que ejercían las moléculas en los paneles y por tanto se podía deducir la densidad de la atmósfera a esa altura. Toda esta fase degradó los paneles solares y dado que la sonda ya había cumplido de sobra con su misión, se programó otro experimento final llamado Termination. Para esa nueva fase se le enviaron comandos a la nave para maniobrar, y el 11 de octubre sobrevoló la atmósfera a solo 139 km de altura y a una velocidad de 7 km/s, lo que provocó el aumento de la temperatura de los paneles hasta los 126 °C. A pesar de no estar diseñada para el aerofrenado, la sonda sobrevivió a ocho de estos sobrevuelos suicidas. El 13 de octubre de 1994, a las 10:05 UTC, se perdieron definitivamente las comunicaciones y poco después se confirmó que la nave se había desintegrado en el planeta que nos había dado a conocer.

El 4 de febrero de 1999, la sonda **Mars Global Surveyor** se convirtió en la segunda nave que realizaba con éxito un aerofrenado. También fue la primera en ser diseñada para realizar estas maniobras y la primera que lo hacía en la atmósfera de Marte. Sin embargo, el proceso para hacer la órbita lo más circular posible fue muy complicado, ya que durante el despliegue de los paneles tras el lanzamiento se dañaron algunos mecanismos que los anclaban a la nave. Además, la atmósfera de Marte es mucho menos densa que la de Venus y por consiguiente es más difícil precisar la altura adecuada para las maniobras. Y por si fuera poco, durante las frecuentes tormentas de polvo en Marte la atmósfera se calienta y expande, cambiando por completo la altura que se considera segura para realizar el aerofrenado. Tras 18 meses de trabajo y varias interrupciones, se pudo reducir la órbita de MGS de un periodo orbital inicial de 45 horas (262 x 54 026 km) hasta una órbita mucho más circular con un periodo

de 1,9 horas (110 x 450 km).

La tercera sonda aerofrenada fue **Mars Odyssey**, otro orbitador marciano de la NASA que llegó a su destino el 24 de octubre de 2001. En su caso, tras 78 días y 380 zambullidas en la atmósfera marciana llegó a su órbita circular de trabajo. Si la misión hubiera realizado este frenado con su motor, habría necesitado llevar un peso extra de 220 kg de combustible. Ese peso extra hubiera impedido que llegara a Marte, por lo que se tendría que haber usado otro cohete más potente y caro. Cinco años después llegó **Mars Reconnaissance Orbiter**, que se situó en una órbita inicial de 426 x 44 500 km y un periodo orbital de 35,5 horas. Tras cinco meses de aerofrenado y 445 pases por la atmósfera, se colocó en una órbita circular a 450 km de altura, que fue bajando posteriormente poco a poco hasta los 300 km de altura actuales, usando ya sus motores químicos.



La sonda europea ExoMars Trace Gas Orbiter realizando el aerofrenado sobre el planeta rojo. Imagen: ESA.

Y la primera sonda de la Agencia Espacial Europea (ESA) en realizar esta maniobra fue **Venus Express**, que llegó a nuestro planeta vecino en 2006 y realizó todas sus maniobras orbitales usando el motor químico de la nave. En junio de 2014, y con su misión cumplida tras ocho años en Venus, la sonda realizó durante tres semanas varios sobrevuelos a una altura entre los 131 y los 135 kilómetros, para adquirir

nuevos datos de la atmósfera del planeta y ver el comportamiento de la nave. A partir de noviembre, la sonda comenzó a tener fallos de conexión intermitentes y finalmente, en diciembre, la ESA dio por finalizada su misión. Ya en 2017, el nuevo orbitador marciano de la ESA llamado **Trace Gas Orbiter** fue la primera misión europea en ser diseñada para realizar el aerofrenado, como parte fundamental de su misión y para adquirir su órbita científica. Tras la inserción orbital, la nave comenzó en marzo el aerofrenado, para pasar de una órbita inicial de 200 x 98 000 km a una órbita de 200 x 1000 km unos once meses más tarde. Finalmente, terminó en una órbita circular a 400 km de altura tras varias maniobras con sus motores.

Las sondas también necesitan una siesta. La hibernación

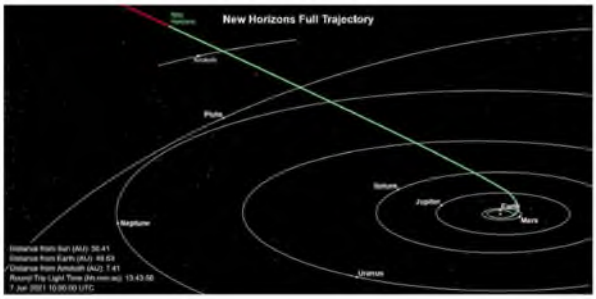
Al igual que los osos entran en hibernación durante el invierno para ahorrar energía y sobrevivir hasta la primavera, algunas de las sondas que tienen largas misiones por delante también hacen uso de esta técnica del mundo animal. La primera sonda de la historia que fue diseñada para usar este recurso fue la nave New Horizons de la NASA, que despegó en 2006 rumbo a Plutón. Tras sobrevolar el gigante Júpiter en 2007, la sonda pasó la mayor parte de todo su vuelo de ocho años hasta Plutón en el llamado «modo de hibernación». En ese modo de funcionamiento, la nave desconecta todos sus componentes, incluyendo ordenadores, instrumentos y sistemas de control. Bueno, todos excepto aquellos considerados básicos, como calentadores térmicos, un ordenador y los sistemas más básicos de comunicaciones. Mientras tanto, la sonda gira sobre sí misma a un ritmo de 5 vueltas por minuto, para mantener una orientación y temperatura estable. Además mantiene la gran antena de comunicaciones apuntada directamente hacia la Tierra, de forma que no sean necesarias maniobras durante las comunicaciones.

Con estas hibernaciones se consigue liberar tiempo de uso de las saturadas antenas de espacio profundo DSN de la NASA, ahorrar en costes de personal durante muchos años y preservar los sistemas de la nave, para que puedan durar el máximo tiempo posible. Cada semana el ordenador hace un chequeo completo de toda la nave y envía a la Tierra un código de baliza en función del resultado del análisis de la sonda. Si todo está correcto, enviará un tono usando la antena de media ganancia (una antena parabólica más pequeña que está colocada sobre la principal) codificado como «verde» (*green*). Si algo va mal, enviará un tono codificado como «rojo» (*red*). Este tono rojo a su vez tiene 7 niveles distintos, en función de la gravedad del fallo detectado. El nivel rojo-1 indica el caso de fallo más leve y el rojo-7 el peor caso

posible, es decir, advierte de un peligro para la supervivencia de la sonda. En caso de recibirse un tono rojo, el equipo de la misión pone en marcha un protocolo para despertar la sonda, se le realizan nuevas pruebas y se intenta solucionar el problema. Durante toda su misión, tan solo en una ocasión se recibió un rojo-2, debido al reinicio inesperado de un procesador. Durante el resto de hibernaciones siempre se ha recibido el tono verde de forma semanal. Si todo va bien durante la hibernación, cada mes se descargan todos los datos registrados en la nave por sus sensores, lo que se conoce como la telemetría. Además, cada año se despierta por completo a la sonda y se la somete a un chequeo completo, con numerosas pruebas y calibraciones durante casi dos meses. Una vez finalizado el proceso puede realizar una nueva hibernación de varios meses, en la que solo tendrá que realizar dos reorientaciones anuales de la antena para que siga apuntando a nuestro planeta en su viaje alrededor del Sol. Con todo esto se consigue mantener a la sonda hibernada el 90 % del tiempo de viaje.

Desde su lanzamiento hasta el sobrevuelo de Plutón, la sonda ha estado 1873 días hibernando, casi dos terceras partes de todo el vuelo. Esta hibernación se ha producido en 18 periodos diferentes, con una duración individual de entre 36 y 202 días. La última vez que New Horizons estuvo en hibernación fue entre el 23 de diciembre de 2017 y el 5 de junio de 2018. Ese día fue despertada para observar el lejano objeto del Cinturón de Kuiper conocido como 2014 MU69, posteriormente llamado Ultima Thule por el equipo de la misión y conocido ahora de forma oficial como Arrokoth. Ese objeto es el cuerpo del sistema solar más lejano jamás observado por una sonda, encontrándose en ese momento a una distancia de 6470 millones de kilómetros del Sol. Durante el sobrevuelo llevado a cabo el 1 de enero de 2019, la sonda adquirió 50 Gbit (6,25 GB) de datos que fueron enviados a la Tierra durante 20 meses, hasta septiembre de 2020. Mientras

tanto, la nave ha realizado observaciones de paralaje con dos estrellas y ha actualizado su *software* durante todo 2021. Esto le permitirá realizar búsquedas de futuros objetos que sobrevolar y cuyas imágenes están siendo analizadas usando nuevos programas de inteligencia artificial.



Trayectoria de New Horizons desde su lanzamiento hasta mediados de 2021. Imagen: NASA/Johns Hopkins APL/Southwest Research Institute.

Otra nave que aplicó la hibernación como una parte básica de su misión fue la sonda europea Rosetta, pero por un motivo totalmente distinto al de New Horizons. Para la sonda de la ESA era imprescindible realizar esa fase de letargo, ya que un tramo de su órbita la llevaba a alejarse tanto del Sol que sus paneles solares no podían producir la suficiente energía eléctrica y eso le obligaba a desconectar equipos y sistemas de la nave. La sonda fue lanzada al espacio el 2 de marzo de 2004, con el objetivo de estudiar en profundidad el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko (67P para los amigos) y posar un pequeño aterrizador llamado Philae en su superficie. Para lograr el acercamiento necesario al cometa, la sonda realizó una compleja trayectoria por el sistema solar que la llevaría a sobrevolar Marte una vez (en febrero de 2007) y la Tierra en tres ocasiones (en marzo de 2005, noviembre de 2007 y noviembre de 2009). Esto le permitió adquirir más velocidad y pudo alejarse del Sol mucho más allá de la órbita del planeta rojo, para llegar casi hasta la de Júpiter. A esa distancia, sus paneles no

serían capaces de transformar la débil luz solar en energía para sus instrumentos y sistemas. Por tanto, el 8 de junio de 2011 la sonda entró en hibernación profunda, con tan solo algunos contactos esporádicos para asegurar que la nave estaba en buen estado.

A una distancia entre las 4,5 y las 5,3 UA, los paneles solares solo podían proporcionar energía para los sistemas básicos de supervivencia, pero no tenían la suficiente potencia como para tener encendidos los instrumentos, ni los sistemas de control y orientación, ni tampoco las comunicaciones. Por tanto, se implementó en la sonda un modo de hibernación durante el cual la nave sería autónoma. Eso significaba que Rosetta sería capaz de arreglar los fallos más básicos que pudieran surgir, sin necesidad de comunicarse con nuestro planeta.

Rosetta llevaba a bordo 4 relojes extremadamente precisos y para despertarse al menos dos de ellos debían indicar que el momento de volver a la actividad había llegado. En caso de fallo de estos relojes, o para cualquier imprevisto, también estaba preparada para despertarse si le llegaba un comando desde nuestro planeta, con la orden de ponerse en marcha. Una vez llegado el momento de despertar, los relojes despertadores mandaron una señal al ordenador central y fue la propia sonda la que encendió de manera automática todos sus sistemas. Tras el «arranque», se realizó a sí misma un análisis completo, para comprobar su buen funcionamiento. Más tarde se aseguró que los paneles estaban bien orientados al Sol y además verificó que la antena principal apuntaba hacia la Tierra, para enviar datos a mayor velocidad. El 20 de enero de 2014, la sonda Rosetta despertó con éxito de su fase de letargo, tras pasar 31 meses en estado de hibernación profunda.

Y dentro de la lista de satélites que también han usado estas técnicas de hibernación se encuentran varios de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y del DoD (Department of Defense), pero con otra finalidad diferente a las de las sondas

Rosetta y New Horizons. Supongamos que tanto la NOAA como el DoD necesitan una flota mínima de diez satélites para realizar sus operaciones meteorológicas o de vigilancia militar en el espacio. Si, de pronto, uno de sus satélites falla o queda inutilizable, el proceso de preparar un nuevo satélite y lanzarlo llevaría demasiado tiempo, por lo que podrían pasar varios meses antes de que la flota de satélites quedara restablecida por completo y operativa al 100 %. Para evitar estas pausas, lo que se suele hacer es lanzar varios satélites más de los necesarios y dejarlos en órbita en un estado de hibernación, con todos sus sistemas desconectados. En el momento en el cual uno de los satélites principales falle o quede inutilizado, se le enviarán comandos al satélite durmiente para que despierte, realice los chequeos necesarios y se desplace a la órbita requerida como si fuera uno nuevo y recién lanzado. De esta forma, todas las operaciones son mucho más rápidas que si tuviesen que lanzar uno nuevo.

El Impactador de la misión Deep Impact en el momento de estrellarse contra el cometa Tempel-1. Imagen: JPL/NASA/UMD.

Entre las sondas también tenemos otras que no fueron diseñadas para hibernar, pero que finalmente necesitaron realizar periodos de hibernación por distintas razones. Entre ellas tenemos a Stardust, que

tras recoger muestras de la coma del cometa Wild 2 vio ampliada su misión (ahora llamada NExT) para estudiar el cometa Tempel 1, por lo que se la puso durante tres años en «hibernación», solo con los paneles solares y el receptor de radio en activo. Otro bello durmiente fue el observatorio WISE, que tras finalizar su misión ampliada estuvo dos años y siete meses en hibernación y fue despertado para observar asteroides cercanos a la Tierra. Y otra bella durmiente fue la sonda Deep Space 1, que aunque no estaba diseñada para entrar en un modo de hibernación, fue la primera sonda en navegar de forma autónoma y enviar tonos a la Tierra indicando su estado. Tampoco podemos olvidarnos de la sonda Deep Impact, que fue lanzada el 12 de enero de 2005 para dirigirse hacia el cometa Tempel 1, al que llegó el 4 de julio de ese mismo año. Al acercarse, la sonda soltó otra minisonda llamada el Impactador, que como estás imaginando finalizó su viaje con un impacto contra el cometa y adquiriendo fotografías durante el acercamiento. La sonda principal analizó la nube de vapor resultante para conocer su composición, y tras enviar todos los datos a la Tierra fue puesta en hibernación. Tras una larga siesta, fue despertada para realizar varios sobrevuelos a nuestro planeta y poner rumbo al cometa Hartley 2, al que llegaría en noviembre de 2010 con el nuevo nombre de EPOXI.

Pero sigamos con la lista, en la que tenemos a los míticos y famosos rovers Spirit y Opportunity, que aterrizaron en Marte en 2004 para una misión de tres meses y finalmente estuvieron funcionando hasta el año 2010 y 2018, respectivamente. Una vida tan larga fue posible en parte gracias a sus periodos de hibernación forzada. Ambos rovers funcionaban mediante la electricidad generada por su paneles solares, y conforme avanzaba la misión el polvo se depositaba en su superficie, bajando la producción de energía. Los frecuentes eventos de viento y remolinos limpiaban algo los paneles, pero año tras año la energía era más complicada de producir. El 20 de julio

de 2007, la NASA reconoció que ambos rovers estaban en peligro debido a las frecuentes tormentas de polvo y que no habían sido diseñados para sobrevivir con tan poca energía. En esos instantes la luz ambiental había bajado hasta un 1 % de la habitual, pasando la potencia producida de unos 700 W hasta los 128 W, siendo 150 W el mínimo necesario para su funcionamiento. Por tanto, durante los inviernos y las épocas de tormentas, ambos rovers eran colocados en alguna pequeña pendiente que dejara sus paneles lo mejor orientados posible hacia el Sol, que estaba además muy bajo en el horizonte. En esta posición ambos fueron hibernados en varias ocasiones, pero todavía se seguían realizando comunicaciones diarias para comprobar la carga de batería y la opacidad de la atmósfera.

Los rovers mantenían su posición y su estado de *stand-by* hasta comprobar que habían pasado las tormentas y que el Sol ya estaba más alto en el cielo. Pero como todo tiene sus límites, en 2010 el rover Spirit quedó atrapado en una zanja y su mala orientación impidió que sobreviviera a la temporada de tormentas. Y en junio de 2018, una enorme tormenta recorrió Marte, lo que llevó a poner a Opportunity en una hibernación de la cual ya nunca salió. Gracias a la hibernación, estas sondas duraron unos años más de los esperado.

En la imagen podemos ver cómo la rueda izquierda de Spirit quedó atrapada en la arena a finales de 2009. En marzo de 2010 la sonda dejó de comunicarse con la Tierra a pesar de estar en estado de hibernación para ahorrar energía. Imagen: JPL/NASA.

Ahora, a este grupo de dormilones podemos sumar el aterrizador InSight de la NASA. Tras aterrizar en Marte en noviembre de 2018, se dedicó a realizar diversos estudios del subsuelo marciano. La llegada del invierno, la mayor distancia del planeta al Sol y la acumulación de polvo en sus paneles solares llevó al equipo a desconectar sus instrumentos científicos y colocarla en hibernación en el verano de 2021. Durante unas semanas la sonda mantuvo una actividad mínima, con comunicaciones puntuales con nuestro planeta y reservando la energía para los ordenadores y los calentadores. Desde finales del mes de agosto la sonda fue recuperando su actividad normal, tras sobrevivir a las bajas temperaturas y al poco Sol que le llegaba.

Por parte de la ESA, la sonda Giotto, que estudió el cometa Halley en 1986, fue la primera sonda en ponerse en hibernación durante cuatro años, entre

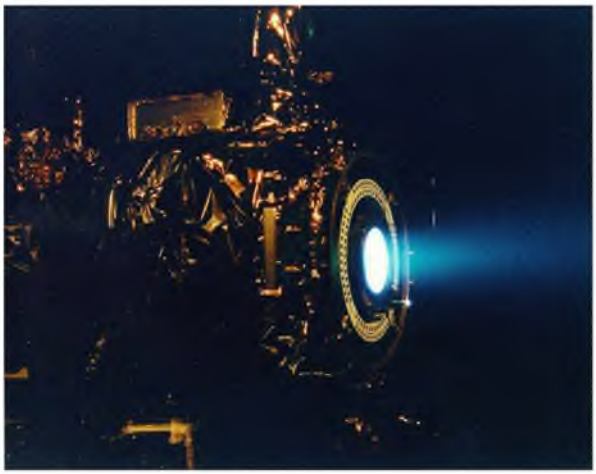
1986 y 1990. Transcurrido este periodo fue despertada para sobrevolar la Tierra (la primera sonda que lo hacía) y el cometa Grigg-Skejellerup en julio de 1992. Tras analizar el cometa fue desconectada y en 1999 se acercó a nuestro planeta para sobrevolarlo, aunque en esta ocasión la ESA decidió no despertar a la sonda y dar su misión por finalizada. Otras sondas importantes como las Voyager, Galileo, Cassini, NEAR y Juno no han usado hibernación, aunque sí han llegado a colocarse en un «modo tranquilo» durante algunas fases de sus misiones, con la desconexión de algunos de sus instrumentos y manteniendo una actividad mínima en la nave.

El motor iónico, lento pero seguro

En las misiones espaciales, tanto de satélites como de sondas, es cada vez más frecuente el uso de los motores iónicos. Esto que puede sonar a película de ciencia ficción es en realidad una idea con más de un siglo de antigüedad. La primera vez que fue llevada a la práctica fue hace ya más de 50 años y se lleva usando un par de décadas de manera habitual en el espacio. Aunque no ha sido hasta hace poco cuando numerosos avances para mejorar su eficiencia han conseguido que sea rentable utilizarlos, tanto por cuestiones económicas como de peso. En muchas sondas es necesario realizar pequeñas correcciones de la trayectoria durante el vuelo, para lo cual se encienden durante unos segundos los pequeños motores (toberas) que lleva la nave. O si la sonda tiene que entrar en órbita alrededor de un planeta, enciende durante varios minutos su motor principal para realizar una fuerte maniobra de frenado. Estos motores son químicos, que funcionan mezclando propelentes que llevan a cabo una combustión química para impulsar la nave. La parte positiva de estos motores es que tienen mucha potencia, pero la parte negativa es que necesitan grandes cantidades de propelentes, lo cual representa mucho peso y espacio en una nave.

Sin embargo, un motor iónico es un concepto completamente diferente, ya que la propulsión se realiza acelerando iones que salen del motor a gran velocidad e impulsan la nave. Sigue funcionando el principio de acción-reacción, como no puede ser de otra manera, pero sin reacciones químicas. Recordemos que un ion es una molécula o un átomo neutro al que le hemos añadido o quitado un electrón y por tanto queda cargado eléctricamente de forma positiva (catión) o negativa (anión). Hay muchos tipos de motores iónicos que usan diversas tecnologías, pero todos ellos parten de un depósito que contiene algún gas neutro, como puede ser xenón (Xe) o criptón (Kr). Este gas se ioniza para extraerle los electrones, y

de esa manera se crea una nube de cationes (iones positivos) de xenón (o criptón), que pasa a través de unas rejillas. Usando campos eléctricos o magnéticos, estos cationes son acelerados a gran velocidad y salen disparados al exterior de la nave. Justo al salir se le vuelven a añadir los electrones arrancados, para que la carga total de la nave se mantenga neutra. De esta manera se consigue que la sonda sea propulsada gracias a ese chorro de gas, que sale a una enorme velocidad de entre 20 y 50 km/s.



Ensayo en la cámara de vacío del motor iónico de gas xenón de la sonda Deep Space 1 de la NASA. Los motores de xenón tienen ese halo tan característico de color azul, formado por los iones del gas siendo expulsados del motor a alta velocidad. Imagen: JPL/NASA.

Este tipo de motores tienen una gran ventaja y es que son muy eficientes y el combustible se puede usar durante años. Su gran inconveniente es que su fuerza de empuje es muy pequeña, por lo que la velocidad de la nave apenas cambia. ¿Dónde está su ventaja? La gran diferencia reside en que un kilo de xenón es mucho más eficiente que un kilo de cualquier compuesto químico y logra a largo plazo un empuje imposible para un motor tradicional. Por tanto, es una

tecnología que se puede usar cuando no es necesario un cambio brusco de velocidad, sino que se utiliza para mantener a satélites comerciales en su posición correcta en órbita o para sondas que puedan realizar maniobras sin mucha prisa para cambiar sus órbitas. Al encender un motor iónico el cambio de velocidad es extremadamente pequeño, pero como lo puedes mantener funcionando durante meses, al final el cambio de velocidad es mayor que si hubieras encendido unos minutos un motor químico. Y además gasta muchos menos kilos de gases que los kilos que habrías necesitado de propelentes.

Los primeros satélites en usar motores iónicos fueron los SERT-1 (1964) y SERT-2A (1970) de la NASA. Con el éxito de esas misiones quedó demostrado que la teoría funcionaba en la práctica y que se producía una propulsión efectiva en el espacio. Estos motores también los usaron los soviéticos en los años setenta, en muchos de sus satélites militares. Más recientemente, el satélite Artemis de la ESA en 2001 y el satélite militar norteamericano AEHF-1 en 2010 lograron salvar sus misiones gracias a los motores iónicos que llevaban. En ambos casos, la última etapa del cohete falló y quedaron en una órbita demasiado baja que habría provocado el abandono de la misión. Sin embargo, gracias al uso durante varias semanas de los motores iónicos de estos satélites, se logró alcanzar la órbita de trabajo deseada. En la actualidad, la empresa Boeing ya entrega muchos de sus satélites de comunicaciones con motores iónicos, lo que les permite realizar maniobras en órbita y con un gran ahorro de peso. Estos motores también son el método de propulsión usado por los satélites de la constelación Starlink de SpaceX. Estos satélites usan criptón, un gas más corrosivo para los componentes del motor, pero mucho más barato que el xenón.

La primera sonda en usar este tipo de motores para cumplir su misión científica fue la Deep Space 1 de la NASA. Esta nave sobrevoló el asteroide Braille y el cometa 19P/Borrelly como parte de un completo

sistema de demostración, que probó una docena de nuevas tecnologías en el espacio como la navegación autónoma y el motor iónico NSTAR. Este motor contaba con 82 kg de xenón y un empuje de tan solo 92 milinewtons, algo así como la fuerza que ejerce una hoja de papel al caer sobre tu mano abierta. Como vemos, es una fuerza muy pequeña, pero si la mantenemos durante semanas logramos cambiar de forma bastante apreciable la velocidad de una sonda. Al finalizar su misión, el motor había funcionado durante más de 16 000 horas y había proporcionado un cambio de velocidad a la nave (delta-V) de 4,3 km/s, algo jamás logrado por una sonda por sus propios medios de propulsión. Nada mal para ser la primera.

En septiembre de 2003, la sonda experimental europea Smart-1 fue lanzada al espacio y llegó hasta la Luna, dibujando una órbita en forma de espiral creciente gracias a su motor iónico. El motor proporcionaba 88 mN de empuje, lo que supuso una viaje a nuestro satélite en unos desesperantes 14 meses, pero con un gasto minúsculo de combustible. Ese mismo año, la sonda Hayabusa, de la agencia japonesa JAXA, emprendió su viaje al asteroide Itokawa, con 4 motores iónicos con un empuje cada uno de 8 mN y un consumo de 350 W. Durante su funcionamiento, solo tres de ellos podían estar encendidos al mismo tiempo, proporcionando 24 mN de empuje y un aumento de velocidad de 4 m/s cada día. Estos motores acumularon decenas de miles de horas encendidos para ir hasta su objetivo y consiguieron, tras muchas dificultades, que la sonda regresara a nuestro planeta con muestras del asteroide. De la misma manera, la reciente sonda Hayabusa-2 trajo muestras del asteroide Ryugu hasta nuestro planeta en diciembre de 2020, haciendo uso de unos motores iónicos muy perfeccionados respecto a los de su predecesora. La siguiente sonda de la NASA en usar motores iónicos fue Dawn, lanzada en 2007 para estudiar los grandes asteroides Vesta y Ceres. Para su viaje contaba con tres motores iónicos de 91

mN, y gracias a ellos se convirtió en la primera sonda que conseguía orbitar dos mundos diferentes. Tras acabar su misión, los motores habían funcionado más de 48 000 horas. Su motor era mucho más sofisticado que el de Deep Space 1, siendo capaz de acelerar de 0 a 100 km/h en «tan solo» cuatro días, un ritmo muy lento para cualquiera, aunque algo más veloz que los últimos coches de Fernando Alonso.

Actualmente la sonda BepiColombo de la ESA, lanzada en octubre de 2018, se dirige hacia Mercurio y entrará en órbita de este planeta el 5 de diciembre de 2025. Para conseguirlo está usando sus motores iónicos y realizó un sobrevuelo de la Tierra (en abril de 2020) y dos de Venus (en octubre de 2020 y agosto de 2021). Sus cuatro motores proporcionan un empuje cada uno de 145 mN y una potencia total de 4,6 kW. Y en pocos años, la Estación Espacial Lunar Gateway de la NASA y la ESA utilizará unos grandes motores iónicos para mantener su órbita lo más estable posible alrededor de la Luna, siendo la primera vez que se usará en una nave con tripulación. El módulo Power and Propulsion Element (PPE), de nueve toneladas, se lanzará en mayo de 2024 en un Falcon Heavy y estará formado por un depósito con cinco toneladas de xenón y cuatro motores iónicos. De esta manera formarán un sistema de propulsión de 60 kW y 600 mN de empuje por motor, el más potente jamás probado en el espacio. Esto permitirá mover y maniobrar la gran masa de la Gateway en órbita lunar con un consumo mínimo.

Representación de los primeros módulos de la Estación Lunar Gateway alrededor de nuestro satélite. Para mantenerse en la órbita correcta, usará los motores iónicos más grandes jamás probados en el espacio. Imagen: NASA.

Capítulo 14

Passengers. Historias de polizones espaciales

Envía tu nombre por todo el sistema solar

La investigación científica y espacial es vital para nuestro futuro. El estudio del espacio tiene un enorme valor, tanto por su retorno económico como por el avance que supone para nuestra sociedad. Pero desde luego, si la sociedad no participa de estos avances, la tarea quedará incompleta. Es más, cualquier inversión millonaria tendrá mucho más apoyo si la sociedad entiende que eso es una inversión para su futuro. Por tanto, en la actualidad la mayoría de las misiones tienen páginas web muy activas donde se explican todos los detalles, los experimentos científicos y sus resultados. Uno de los métodos usados por muchas misiones consiste en promover campañas para que las personas que lo deseen puedan enviar su nombre al espacio. ¿A quién no le hace ilusión pensar que su nombre está en Marte o en un cometa? ¡Yo desde luego me apunto en todas! Es una forma bonita y barata de animar e ilusionar a los niños y no tan niños para que se interesen por la exploración espacial. En la era pre-Internet, cuando la comunicación entre las agencias y los ciudadanos era casi inexistente, no se preparaban estas campañas. Pero desde la llegada de Internet, muchas misiones habilitan formularios en sus páginas, donde cualquiera puede enviar su nombre para ser incluido en la misión. ¡Y además te puedes bajar un certificado que acredita la presencia de tu nombre en la nave! Si quieres enviar el tuyo en la próxima misión, busca la web «Send your name to Mars» de la NASA y déjalo en el formulario que los irá almacenando, hasta que sean incorporados en la siguiente misión. Hasta finales de 2021, un total de 32 misiones espaciales habían promovido una campaña para enviar nombres al espacio. De todas estas misiones, 27 llevaron los nombres a sus destinos con éxito, una fue cancelada y cuatro fallaron en el lanzamiento o durante la misión.

La lista completa de estas misiones es: Mars Pathfinder, Mars 96 (falló), Cassini, Huygens, Stardust, Mars Polar Lander (falló), Mars Surveyor 2001 (cancelada), Hayabusa, Spirit, Opportunity, Cosmos-1 (falló), Deep Impact, New Horizons, Dawn, Phoenix, Kaguya, Lunar Reconnaissance Orbiter, Kepler, Akatsuki, Ikaros, Glory (falló), Curiosity, MAVEN, Hayabusa-2, Orion, OSIRIS-Rex, Lightsail 2, InSight, Solar Parker Probe, Perseverance, Satish Dhawan y Xplore Xcraft. Y este es un resumen de los contenidos enviados al espacio por cada sonda:

- Dos de los mayores impulsores de este tipo de iniciativas son el Jet Propulsion Laboratory y la Planetary Society. Esta última institución fue la pionera en 1995, al inscribir directamente todos los nombres de sus

miembros en un microchip de la misión Mars Pathfinder de la NASA.

- El año siguiente los volvió a incluir junto con un grupo de obras sobre Marte llamadas «Visions of Mars», en la misión Mars 96 de Roscosmos. Los nombres inscritos en Mars Pathfinder siguen en Marte, pero por desgracia los de Mars 96 fueron dispersados por la atmósfera terrestre entre el Pacífico, Chile y Bolivia, al fallar el cohete en su lanzamiento.
- Un año más tarde, la Planetary Society volvió a colaborar con la NASA y recogió todas las firmas de sus miembros en papel, las escanearon y las prepararon para ser incluidas en la misión de Cassini, bajo la campaña «Envía tu nombre a Saturno». Esas firmas, junto con las de otros 600.000 ciudadanos de 81 países, así como numerosos mensajes y dibujos, fueron incluidos en un DVD. En una misión pre-Internet, fueron los voluntarios de Planetary Society los que ordenaron y escanearon a mano cada carta y cada firma recibidas de colegios e institutos de todo el mundo. La pequeña sonda europea Huygens, que iba acoplada a Cassini, también llevaba su propio CD. Este disco contenía los nombres de miles de europeos, cientos de dibujos infantiles de colegios y 14 minutos de música instrumental de cuatro canciones pop. Las canciones formaban parte del proyecto Music 2 Titan y fueron compuestas por los músicos franceses Julien Civange y Louis Haéri, que antes de la misión no eran conocidos ni en su casa. Ni después tampoco. Por si te lo preguntabas, las canciones se llaman «Lalala», «Bald James Deans», «Hot Time» y «No Love». Eran tan malas que no comprendo cómo no fueron seleccionadas para ir a Eurovisión ese año.

- Durante ese año 1997, una campaña de la NASA llamada «Envía tu nombre a un cometa» consiguió recoger 1.130.000 nombres por todo el mundo para la misión Stardust, que debía recoger polvo desprendido del cometa Wild 2. Los nombres fueron grabados en dos microlitografías que iban a bordo de la sonda. Otra copia idéntica iba en la cápsula que volvió a la Tierra con las muestras del cometa.
- En 1998, la NASA promovió una nueva campaña llamada «Escribe tu nombre en Marte» entre los colegios de todo el país, con la que se recogieron casi un millón de nombres para la misión Mars Polar Lander. Algunos padres expresaron sus preocupaciones por la privacidad de sus hijos y la NASA tuvo que aclarar que era solo una lista de nombres y que no incluía ningún tipo de dato adicional como el colegio, la edad o nada similar. Pero eso no era nada comparado con la reacción de una madre de la América profunda y con la cabeza llena de pajaritos, que se opuso a que el nombre de su hijo fuera incluido en el CD, porque podría ser abducido por los extraterrestres. De todas formas, la NASA indicó que el CD no estaba protegido contra la radiación y que en pocos días tras el aterrizaje todos los datos quedarían borrados. Al final tampoco hubo que esperar tanto tiempo, porque la nave falló en su descenso por la atmósfera marciana y se estrelló contra el suelo, destruyendo la misión y el peligroso CD. ¡Jaque mate, extraterrestres! ¡Ya no encontraréis a nuestros hijos!
- En 2002 la Planetary Society produjo un mini-DVD, que volaría en los rovers marcianos Spirit y Opportunity con los nombres de 4 millones de espacio-trastornados. Encima de cada DVD se colocó una figura de Lego Astrobot, cuyos protagonistas eran Biff

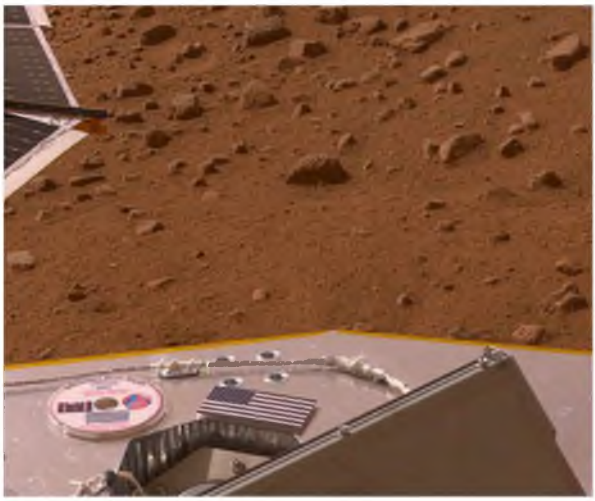
Starling y Sandy Moondust, los personajes de las aventuras espaciales de esta marca. El disco además portaba varios imanes de colores que recogerían el polvo marciano, para estudiar el cambio de color y aspecto bajo la atmósfera del planeta rojo. Todo ello junto con un mensaje en clave que debía ser descifrado por los estudiantes. El DVD iba anclado en uno de los paneles abatibles de los airbags con los que aterrizaron los rovers. Al construirlo no fue fabricado con plástico, sino de vidrio de sílice. De esta forma podría ser esterilizado a altas temperaturas sin sufrir daños y duraría más de 500 años en Marte.

- Ese mismo año, también se preparó por parte de Planetary Society una hoja de aluminio con 877.000 nombres impresos y que fue introducida en uno de los «Target Markers» que llevaba la sonda Hayabusa hacia el asteroide Itokawa. El «Target Marker» era una ayuda para la sonda en forma de pequeño balón reflectante, que se lanzaba hacia la superficie del asteroide. Esto permitía a Hayabusa conocer la distancia que le faltaba por recorrer hasta la superficie, así como orientarse mejor con las fotografías.
- En 2003, de nuevo la Planetary Society y la agencia japonesa JAXA prepararon un CD con los nombres de las 77.000 personas que se inscribieron en su web para la misión Cosmos-1. Esta misión tenía como objetivo probar la tecnología de velas solares, que impulsan a la nave gracias al empuje de la luz solar. Además se incluyeron estudios, cartas, historias y relatos relacionados con las velas solares en la ciencia y la ciencia ficción. Por desgracia, el satélite no llegó a la órbita terrestre y se desintegró en algún lugar sobre el océano Ártico.
- En mayo de 2003, el JPL lanzó la campaña

«Envía tu nombre a un cometa», a través de un formulario en su web para la misión Deep Impact, recogiendo más de 600.000 nombres hasta enero de 2004, cuando finalizó el plazo. Todos los nombres fueron grabados en un mini-CD, que se ancló al Impactador que acabó chocando contra el cometa Tempel y fueron convertidos en vapor cósmico al instante.

- Por su parte, el DVD que se incorporó a la sonda New Horizons en 2005 con más de 400.000 nombres será eterno, ya que no será destruido por la radiación, ni acabará estrellado contra ninguna superficie. Está fabricado con vidrio de sílice, al igual que los de Spirit, Opportunity y Phoenix. Este DVD será legible durante miles de años y se mantendrá intacto durante miles de millones de años, al igual que la propia sonda.

- En 2006, se recogieron otros 360 000 nombres entre la NASA y Planetary Society para la sonda Dawn, que visitó los asteroides Vesta y Ceres. En la sonda iba acoplado un microchip con los nombres de las personas que se inscribieron en su web y los socios de Planetary Society.



- También en 2006 y para su aterrizador polar Phoenix, la NASA y Planetary Society promovieron una nueva campaña para llevar un DVD en la misión. Finalmente se logró incluir 250.000 nombres a través de la web, datos técnicos de la misión, saludos de sus

responsables y el recopilatorio «Visions of Mars». Este recopilatorio es un conjunto de ensayos, historias y arte sobre Marte, que inspiraron a la humanidad durante los siglos XIX y XX. Dentro se han incluido obras de Carl Sagan, Isaac Asimov, Ray Bradbury, Arthur C. Clarke y Percival Lowell, entre otros, representando a 20 naciones y culturas. Todo ello se encuentra en un DVD de vidrio de sílice que sobrevivirá un mínimo de 500 años, algo más que la primera edición de «Visions of Mars», que voló en la misión rusa Mars 96 y que se estrelló en nuestro planeta después del lanzamiento.

- Y por último, también en 2006 la misión Kaguya de la agencia japonesa JAXA junto con Planetary Society lanzaron la campaña «Deseos hacia la Luna», que fue seguida por 412.627 personas, la mayor parte de Japón. Estos nombres fueron micrograbados en dos planchas metálicas de 28 x 16 cm y colocadas en dos paredes laterales de la sonda lunar, que acabó estrellándose en nuestro satélite al concluir su misión.
- En 2008 la campaña de la NASA fue «Envía tu nombre a la Luna», durante la cual 1.600.000 personas enviaron su nombre para ser grabado en un microchip, que iría dentro de la sonda Lunar Reconnaissance Orbiter, cerca del módulo de propulsión.
- También ese año la NASA preparó una campaña para enviar por primera vez una colección de nombres a bordo de un observatorio espacial. La misión Kepler llevó consigo los nombres de más de 60.000 seguidores en un DVD acoplado en una pared de su interior.
- En 2009, la sonda japonesa Akatsuki portó hacia Venus un total de 18 placas de aluminio, con los nombres de más de 100.000 seguidores

y miembros de Planetary Society. En el mismo lanzamiento volaba también la vela solar Ikaros, con un mini-DVD conteniendo los nombres.

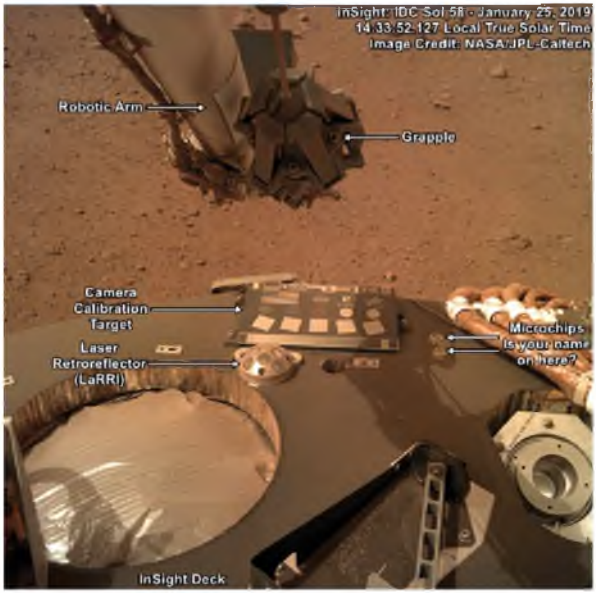
- Glory fue un breve satélite de la NASA, dedicado a estudiar los aerosoles y la radiación solar en la atmósfera terrestre. En 2010 la Planetary Society fabricó un microchip con los nombres de sus socios, para incluirlos en la nave. En contra de su propio nombre, el satélite no obtuvo ninguna gloria ya que no pudo llegar a la órbita y se desintegró en la atmósfera.
- Para el rover marciano Curiosity, en 2011, la NASA volvió con su campaña «Envía tu nombre a Marte», con la que recogió 1,2 millones de nombres en su página web. Además escaneó las firmas de 20 000 visitantes del Jet Propulsion Laboratory y grabó varios dibujos de Leonardo da Vinci, así como algunos dibujos de los niños que participaron en la campaña para darle un nombre al rover. Todo ello va dibujado en miniatura en dos microchips de 2,3 cm de ancho, usando una herramienta del JPL que lanza un chorro de electrones para realizar la impresión. Ambos chips van acoplados en la cubierta superior del rover.
- Otra sonda marciana, en este caso el orbitador MAVEN, recogió en 2011 los nombres de miles de ciudadanos para incluirlos en un DVD rumbo a Marte y que fue anclado dentro de su estructura.
- En el año 2013 la agencia japonesa JAXA preparaba su misión Hayabusa-2. Ese año puso en marcha sus campañas «Little Prince» y «Messages from Earth», para recopilar nombres que irían grabados en tarjetas de memoria en la cápsula de retorno de muestras. Los nombres también irían

impresos en varias láminas de aluminio, que quedarían envueltas en los «Target Markers» de la sonda que se aproximaría al asteroide Ryugu.

- En 2014, la NASA realizó su primer vuelo de prueba de la cápsula tripulada Orion, que iba sin tripulantes pero cargada con 1 300 000 nombres miniaturizados y grabados en un microchip de 8 mm de tamaño. Para lograr semejante proeza, en el JPL lanzaron un fino chorro de electrones contra el chip, que iba escribiendo cada letra con un tamaño mil veces menor que el ancho de un pelo humano.
- Ese mismo año, la NASA recogió casi medio millón de nombres para ser incluidos en un microchip a bordo de la sonda OSIRIS-Rex, que obtuvo varias muestras del asteroide Bennu. Un duplicado de los nombres se encuentra en la cápsula de descenso de esas muestras, que llegan a la Tierra en 2023.
- En 2015, la Planetary Society preparó un mini-DVD con los nombres de todos sus socios y de las personas que aportaron fondos en una campaña de *crowdfunding*, con la que se financió el cubesat LightSail 2. Este pequeño satélite iba propulsado por una vela solar de 32 metros cuadrados. El proyecto privado incluyó en el disco el nombre de cualquier persona que aportara más de un dólar para su desarrollo.
- En 2018, la NASA promovió la iniciativa «Envía tu nombre al Sol», para incluir todos los nombres posibles en la sonda Solar Parker, que está estudiando el Sol más cerca que ninguna otra. En total se recogieron más de 1.100.000 nombres en menos de dos meses, que fueron almacenados en una tarjeta de memoria, junto con varias fotos de Eugene Parker y una copia de su artículo, que revolucionó nuestra comprensión del Sol en

1958 con la primera teoría sobre la existencia del viento solar. La tarjeta fue pegada a una placa metálica con una frase de homenaje a Eugene y finalmente adherida a la estructura de la nave. Y por cierto, esta misión es la primera de la NASA que lleva el nombre de una persona que está viva en el momento de lanzarla. De hecho, no quiso perderse el despegue, al que acudió con sus 91 años de edad.

- Ese mismo año se realizó una nueva campaña «Envía tu nombre a Marte» (ya tradicional), para la misión InSight que aterrizó en el planeta rojo con el objetivo de explorar el subsuelo marciano. La campaña fue un éxito, ya que se registraron casi dos millones y medio de nombres, que fueron grabados con chorro de electrones en dos microchips.



- Ya en 2020, la NASA superó el récord absoluto de nombres para una misión, al incluir casi once millones de ellos en tres microchips. Los nombres fueron micrograbados con un chorro

de electrones en los chips que el rover Perseverance lleva encima de un cartel conmemorativo de la campaña «Envía tu nombre a Marte».

Extraños pasajeros por el sistema solar

Si tienes afición por los temas espaciales, habrás escuchado en numerosas ocasiones hablar de la placa que llevaban las sondas Pioneer, con algunos gráficos indicando nuestra posición dentro de la galaxia y el perfil de dos figuras humanas, entre otras cosas. Y por supuesto, conocerás los discos de las sondas Voyagers, que almacenan imágenes y sonidos de nuestro planeta. Pero, aparte de esas dos sondas, ¿hay otras misiones que hayan llevado algún mensaje o recordatorio especial? La respuesta es un rotundo sí, ya que en muchas ocasiones las naves llevan dentro unos extraños pasajeros muy especiales y a veces totalmente inesperados (¿no es verdad, querida teniente Ripley?). Estos polizones suelen ser placas con homenajes, recuerdos, acertijos, símbolos, campañas de divulgación y hasta cenizas humanas. Veamos que llevan sobre sus espaldas algunas de las sondas que viajan por el espacio.

Las dos esferas de titanio hechas con placas conmemorativas de la URSS, que actualmente están dispersas en un área de unos cuantos kilómetros de la superficie lunar. Imagen: dominio público.

La sonda Luna 2 fue la primera nave de la humanidad que tocó la superficie de nuestro satélite. Y digo «tocó» porque no aterrizó, puesto que solo habían transcurrido dos años desde el lanzamiento

del Sputnik-1 y todavía no existía la tecnología necesaria para posar una sonda en la Luna. Lanzada en 1959 por la Unión Soviética en plena carrera espacial y propagandística, los diseñadores no se olvidaron de incluir en el equipaje dos esferas realizadas con pequeñas placas de forma pentagonal y fabricadas en titanio. Las placas llevaban inscripciones conmemorativas de la Unión Soviética, donde se podía leer en algunas «URSS enero 1959» junto a una estrella de cinco puntas, y en otras estaba grabado el escudo de armas de la Unión Soviética. La nave fue lanzada el 12 de septiembre, y al día siguiente impactó contra la superficie lunar al este del Mare Imbrium. Unos segundos antes del impacto se activaron dos cargas explosivas en el interior de las esferas con el objetivo de diseminarlos por toda la zona de caída. Esto sería inimaginable hoy en día, pero entonces supuso un golpe propagandístico para todo el mundo. Durante los siguientes 25 años, el resto de misiones de la serie Luna, las misiones Mars hacia Marte y las misiones Venera hacia Venus también portaban diversos medallones y placas conmemorativas acopladas a la estructura de las sondas, con iconografía propia de la URSS y de la misión, pero sin cargas explosivas.

Otra sonda enviada hacia nuestro satélite fue la Lunar Prospector de la NASA, una pequeña misión del programa Discovery lanzada en 1998, con el objetivo de estudiar los depósitos de hielo en los polos lunares. Esta misión proporcionó una gran cantidad de información sobre la composición de la superficie de nuestro satélite y de los recursos que podremos utilizar en el futuro. La sonda llevaba en su interior una pequeña cápsula hecha de policarbonatos, con parte de las cenizas del geólogo y astrónomo Eugene Shoemaker. Este astrónomo fue fundador de la geología planetaria, investigador principal en las misiones Surveyor y Apolo, así como codescubridor del cometa Shoemaker-Levy 9, que impactó en Júpiter en 1994. Eugene falleció en un accidente de tráfico en

Australia en 1997, mientras se dirigía a estudiar un cráter de impacto. La científica planetaria Carolyn Porco (que trabajó en el equipo de imagen de las misiones Voyager y New Horizons y fue líder del equipo de imagen de Cassini) fue compañera de Shoemaker durante muchos años y nada más fallecer comenzó a organizar su tributo, proponiendo a la NASA que llevaran sus cenizas en la nave. Sorprendentemente, tan solo 10 días después, Carolyn recibió una respuesta positiva por parte de la NASA. Por tanto, preparó los restos con la ayuda de la empresa Celestis, dentro de una pequeña cápsula que portaba una lámina de latón con un dibujo del cometa Hale-Bopp (el último cometa observado por el matrimonio Shoemaker), una imagen del cráter del Meteoro en Arizona y un pasaje de la obra de *Romeo y Julieta* de Shakespeare:

> Y cuando muera,
> lleváoslo y divididlo en pequeñas estrellas.
> El rostro del cielo se tornará tan bello
> que el mundo entero se enamorará de la noche
> y dejará de adorar al estridente sol.

La sonda Mars Express y el lugar donde lleva una pequeña cápsula con pintura roja de la escudería Ferrari. Al menos en el espacio sí van rápidos.

Imagen: ESA.

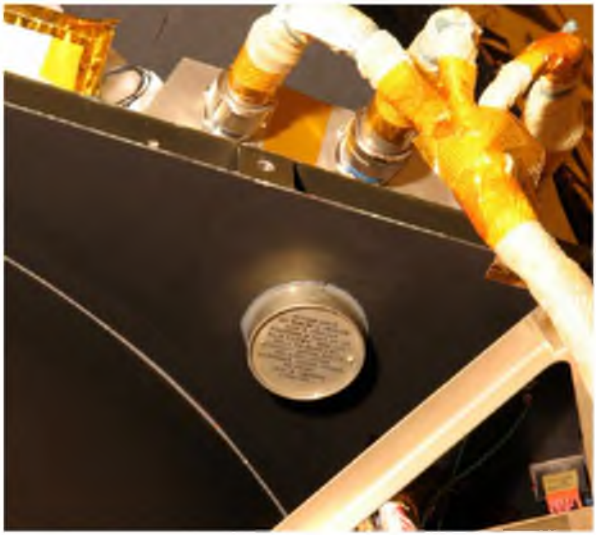
Sus restos quedaron esparcidos por la superficie lunar el 31 de julio de 1999, cuando la nave finalizó su misión estrellándose en un cráter del polo sur lunar. De esta manera se convirtió en la primera y única persona cuyos restos se encuentran en la superficie lunar. Aunque esto no hizo mucha gracia a los representantes del pueblo navajo, que hicieron pública una protesta ya que la Luna para ellos es un lugar sagrado y nadie les pidió permiso. La NASA comunicó que si había otra ocasión, lo hablarían antes con ellos.

Ya en junio de 2003, la Agencia Espacial Europea (ESA) lanzaba al espacio su primera sonda al planeta rojo llamada Mars Express, con el objetivo de estudiar su atmósfera, la superficie y las capas subterráneas en busca de agua y respuestas sobre nuestro vecino. Por sorpresa, en julio de 2002 la ESA anunciaba en una nota de prensa que con motivo del quinto título mundial de Fórmula 1 conseguido por Michael Schumacher con la escudería Ferrari, esta sonda llevaría una cápsula con una muestra de pintura usada en los coches de la mítica marca. Las gotitas irían en una pequeña esfera de cristal de 2 centímetros de diámetro y preparada para soportar las vibraciones y temperaturas extremas del viaje hasta Marte. En septiembre, y tras superar numerosas pruebas para conocer el comportamiento de la pintura bajo calor y fríos extremos, fue acoplada con un soporte a la estructura de la nave. El objetivo publicitario era que Ferrari pudiera batir un nuevo récord de velocidad, al viajar en la sonda a casi 11.000 km/h, formando parte de una nueva estrategia de la ESA de llegar a un público más amplio.

En enero de 2006, la sonda New Horizons (que se hizo muy famosa en 2015 por sobrevolar Plutón) emprendió su largo viaje, cargada como el trineo de Papá Noel. Además de un CD que portaba los nombres de las 435.000 personas que se inscribieron en su web, la nave llevaba otro CD con fotografías del equipo que

había diseñado y construido la sonda. También se añadieron dos monedas de 25 centavos de dólar de Florida (desde donde se lanzó) y Maryland (donde se construyó), así como dos banderas de los Estados Unidos. Por si fuera poco se le acopló un sello de 29 centavos de USPS (United States Postal Service) de 1991 con el lema «Plutón: todavía sin explorar» y un pequeño trozo del fuselaje de la nave SpaceShipOne, que fue la primera nave privada en alcanzar el espacio en 2004. En uno de los laterales de la nave se atornilló algo muy especial: una miniurna con algunas de las cenizas del astrónomo Clyde Tombaugh, el descubridor del (ex)planeta Plutón, y por tanto serán durante mucho tiempo los restos humanos que más lejos han viajado. En la tapa hay una inscripción donde se puede leer:

> En el interior están los restos del americano Clyde W. Tombaugh, descubridor de Plutón y de la «tercera zona» del sistema solar. Hijo de Adelle y Muron, esposo de Patricia, padre de Annette y de Alden, astrónomo, profesor, aficionado a las bromas y amigo. Clyde W. Tombaugh (1906-1997).



En un panel interior de la sonda New Horizons viajan

las cenizas de Tombaugh, los únicos restos humanos que han viajado al sistema solar exterior y los primeros que llegarán al espacio interestelar. Imagen: JHUAPL/NASA.

A esta fiesta de los polizones se unió en el año 2011 la sonda Juno, que se encuentra estudiando el gigante gaseoso Júpiter y que también llevaba varias sorpresas en el equipaje. Una de ellas es una placa conmemorativa en honor a Galileo Galilei, diseñada por la Agencia Espacial Italiana (ASI) y que fue fabricada en aluminio aeronáutico con unas dimensiones de 7 x 5 cm y un peso total de 6 gramos. En la placa aparece dibujado un retrato del propio Galileo y un texto manuscrito de 1610, en el cual se narra el descubrimiento de lunas alrededor de Júpiter:

> El día 11 estaban en esta disposición y la estrella más cercana a Júpiter era de la mitad del tamaño que la otra y muy cercana a otra, de forma que durante las noches anteriores las tres estrellas observadas parecían de la misma dimensión y entre ellas igualmente lejos; así que es evidente que alrededor de Júpiter hay tres estrellas que se mueven y han sido invisibles hasta ahora para todos.

Figuras de Lego que viajan en la sonda Juno, representando a Júpiter, Juno y Galileo. Imagen: NASA.

Además la sonda porta tres figuritas de Lego que

representan a la diosa Juno, a su esposo y hermano Júpiter y al propio Galileo Galilei. La minifigura de Juno lleva una lupa como símbolo de búsqueda de la verdad, Júpiter porta varios rayos, mientras Galileo lleva el planeta y su inseparable telescopio. Todo esto forma parte de una colaboración entre la NASA y Lego para un programa educativo que busca aumentar el interés de los niños en la ciencia y la tecnología. Para la misión, las figuras se fabricaron con el mismo aluminio de la sonda, lo que les permitiría resistir las extremas condiciones del espacio.

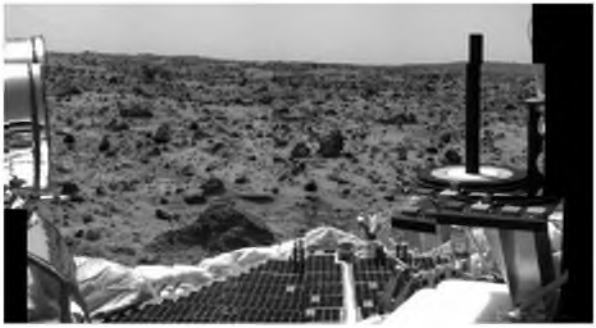
Extraños pasajeros en Marte

Se ha vuelto una costumbre que todas las misiones que aterrizan en Marte lleven algunos complementos que sirvan para divulgar la misión, como homenajes, placas conmemorativas, para poner acertijos y para portar emblemas. Asimismo, todas las misiones llevan los llamados «objetivos de calibración», que muchas veces suelen llevar también otros elementos e inscripciones pensadas por el equipo de la sonda. Estos objetivos de calibración permiten a las cámaras y espectrómetros (los instrumentos que analizan el terreno) saber si los datos que están obteniendo son correctos. Para lograrlo, los objetivos destinados a las cámaras llevan zonas de distintos colores y los objetivos destinados a los espectrómetros suelen llevar materiales con una composición conocida. De esta manera, las imágenes y análisis de estos objetivos se comparan con los obtenidos en la Tierra, y si coinciden significa que el instrumento está bien calibrado. Además, estos objetivos permiten a las cámaras hacer ajustes de colores, enfoques y brillos en función de la hora del día en la que se adquieran las imágenes.

Las sondas **Viking 1** y **Viking 2** fueron lanzadas en 1975 con el objetivo de situar cada una de ellas un orbitador alrededor de Marte y un aterrizador en el suelo marciano. Ambos aterrizadores cumplieron con éxito su misión, convirtiéndose en las primeras sondas que nos enviaron imágenes desde la superficie del planeta rojo. En la cubierta del generador nuclear de las Vikings se encontraba una bandera norteamericana, el emblema del bicentenario de los Estados Unidos y el logotipo de la misión. Y en tres localizaciones de la sonda teníamos el Reference Test Chart, uno de los calibradores para las cámaras de la sonda formado por 24 cuadrados de varios colores y escalas de grises.

En octubre de 1980, el investigador y geólogo Thomas A. Mutch falleció en un accidente mientras escalaba una montaña en el Everest. En 1981 la NASA

y la comunidad científica decidieron renombrar la Viking 1 como Mutch Memorial Station, en homenaje al fallecido. Como dato curioso, la NASA fabricó una placa homenaje que se encuentra actualmente expuesta en el National Air and Space Museum de Washington, con el compromiso de ser anclada a la Viking 1 en el futuro, por alguna misión tripulada que aterrice en las cercanías. En la placa se puede leer: «Dedicado a la memoria de Tim Mutch, cuya imaginación, brío y determinación contribuyeron en gran medida a la exploración del sistema solar».



En el lado derecho podemos ver el calibrador Radiation Calibration Target de la Carl Sagan Memorial Station, que llevó al pequeño rover Sojourner hasta la superficie de Marte en 1997. Imagen: JPL/NASA.

En 1997 llegó a Marte el primer rover de la historia, llamado **Sojourner.** Este rover era demasiado pequeño y experimental como para ponerle algún extra encima, pero el aterrizador desde el que salió tenía una pequeña base científica con una cámara llamada IMP para fotografiar el entorno y al rover. En un soporte se encontraba el llamado Radiation Calibration Target con varios cuadrados de distintos materiales y colores, lo que permitía calibrar la cámara para obtener imágenes de aspecto lo más real posible. Tres anillos concéntricos de color blanco, gris y negro con un poste central completaban el sistema de calibración de la cámara. Este aterrizador fue

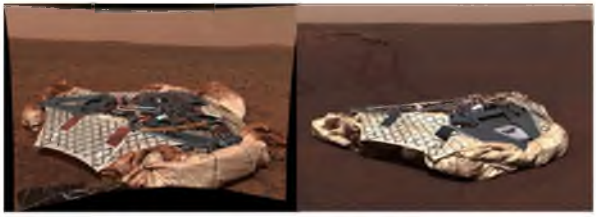
renombrado durante la misión como la Carl Sagan Memorial Station, en honor al mítico astrónomo y divulgador, que había fallecido unos días después del lanzamiento de la misión hacia Marte.

Unos años más tarde llegaron a Marte los rovers **Spirit** y **Opportunity**. Estos dos rovers gemelos aterrizaron en Marte en 2004 y llevaban toda su instrumentación idéntica, pero cada uno llevaba sus propios polizones y homenajes. El rover Spirit se posó dando saltos dentro de su pelota de airbags en el cráter Gusev de Marte, el 4 de enero de 2004. Una vez se abrieron los pétalos que lo protegían, el rover examinó el entorno y salió hacia la superficie marciana. Como homenaje, el equipo de la misión renombró el lugar de aterrizaje como la Columbia Memorial Station, en honor a los siete astronautas fallecidos en el accidente del Transbordador Espacial Columbia en 2003.

En la foto de la izquierda podemos ver la placa conmemorativa en recuerdo de la tripulación del Columbia en la parte trasera de la antena de comunicaciones de Spirit. En la foto derecha vemos una bandera junto a una placa con la firma del presidente de los EE. UU. y los dirigentes de la NASA. Imagen: JPL/NASA.

La NASA publicó un poco más tarde una fotografía de la parte posterior de la antena del rover, donde se encontraba impresa una placa conmemorativa para recordar a los fallecidos con sus nombres y el emblema de la misión. Además, siete colinas que se encontraban en el horizonte fueron nombradas como las Colinas Columbia y cada una llevaba el nombre de uno de sus tripulantes. Otras tres colinas adyacentes

fueron bautizadas como Colinas del Apolo 1, en honor a los tres astronautas que fallecieron en el ensayo de esa misión. Por su parte, el lugar de aterrizaje del rover Opportunity fue renombrado como Challenger Memorial Station, en honor de los astronautas fallecidos en el accidente del Challenger en 1986.



A la izquierda tenemos la Columbia Memorial Station de Spirit y a la derecha la Challenger Memorial Station de Opportunity. Imágenes: JPL/NASA.

En uno de los pétalos de ambas plataformas se encuentra dibujada una bandera de los Estados Unidos, junto a los nombres y firmas del presidente George W. Bush y el administrador Sean O'Keefe de la NASA, además de otros responsables de la misión. En otro pétalo de las dos plataformas tenemos un mini-DVD de The Planetary Society y Lego con los nombres de 4 millones de personas, que se inscribieron por Internet con la iniciativa «Send your name to Mars». La parte central del DVD tiene una imagen de una figura de Lego llamada «Astrobot Biff Starling» en un rover y la figura «Astrobot Sandy Moondust» en el otro, así como imanes de varios colores. Alrededor del DVD se encuentran codificados varios mensajes, que tenían que ser resueltos en las numerosas actividades educativas de la campaña «Red Rover goes to Mars», que tuvieron lugar en los colegios de Estados Unidos tras el aterrizaje. En el rover Spirit, el mensaje estaba codificado con una serie de barras verticales y horizontales que representan un código de números, que a su vez representaban letras con el mensaje «Wish you were here» («Desearía que estuvieras aquí»). En el rover Opportunity el mensaje estaba

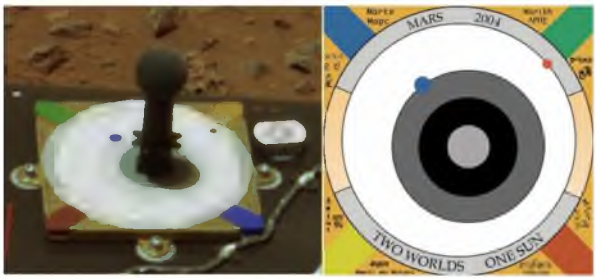
codificado en braille con el mensaje «Explore to learn» («Explorar para aprender»).

Ambos rovers llevaban un DVD con los nombres de 4 millones de personas. A la izquierda el DVD de Oppy con un mensaje encriptado en braille y a la derecha el de Spirit con un mensaje de códigos alfanuméricos. Imagen: JPL/NASA.

En la parte trasera de ambos rovers se encontraba el objetivo de calibración de la cámara PanCam, que servía para ajustar el color y el brillo de las fotografías, así como un reloj de sol (gnomon) en el centro. Dibujados hacia el exterior, se encuentran varios anillos concéntricos de distintos tonos de grises, que contienen un punto azul representando a la Tierra y uno rojo representando a Marte. En la parte superior se puede leer «Mars 2004» y en la inferior «Two worlds, one Sun». En las esquinas tenemos los colores verde, amarillo, azul y rojo para calibrar las cámaras. Finalmente, alrededor de la placa tenemos la palabra «Marte» escrita en 17 idiomas diferentes.

Los rovers llevaban un espectrómetro Mössbauer, que servía para analizar la composición de hierro del terreno. Como objetivo de calibración, tenía una pequeña muestra de roca que era rica en magnetita y que estaba situada debajo de los paneles solares, siendo también utilizada por el espectrómetro APXS. El espectrómetro Mini-TES del mástil, que analizaba el calor infrarrojo emitido por el suelo y las rocas, tenía un objetivo de calibración dentro del propio mástil y otro al lado de la antena de baja ganancia de la

cubierta. Y como curiosidad final, las seis ruedas de los dos rovers iban ancladas a sus plataformas de aterrizaje con tornillos, que fueron partidos por la mitad con pequeñas cargas explosivas una vez que el rover estaba listo para moverse. Esto dejó un pequeño agujero en cada rueda, que al moverse y dar una vuelta dejaba una marca en el suelo, algo que usó el equipo de la misión para calcular y verificar las distancias recorridas.



Cada rover llevaba un pequeño calibrador que se fotografiaba con frecuencia durante la misión. Esas fotos servían para calibrar correctamente los colores del resto de imágenes del terreno. A la derecha vemos las inscripciones que llevaba. Imagen: JPL/NASA.

En 2008 llegó a Marte el aterrizador **Phoenix.** Esta sonda llevaba en su plataforma tres objetivos de calibración para las cámaras, con un diseño distinto al usados en los rovers Spirit y Opportunity. Estos objetivos son redondos y poseen 6 piezas exteriores de distintos colores y grises, que tienen un imán en su interior para repeler el polvo marciano. En su parte central lleva otros diez círculos con algunos colores más. En dos de los calibradores podemos ver pequeños granos de un tamaño aproximado de 3 milímetros, que son fragmentos de rocas que acabaron sobre la nave durante el aterrizaje. Además, la sonda lleva una bandera de los Estados Unidos y un DVD proporcionado por The Planetary Society, con una colección de literatura y arte sobre el planeta rojo. El DVD también incluye unos 250 000 nombres enviados por aficionados al espacio, para ser

incluidos en la sonda. En el disco, cuyo objetivo es que sea encontrado por futuros exploradores humanos del planeta, se puede leer:

> Este archivo ha sido proporcionado a la misión Phoenix de la NASA por The Planetary Society y contiene literatura y arte («Visiones de Marte»), saludos de visionarios de Marte de nuestros días y los nombres de terrícolas del siglo XXI que querían enviar sus nombres a Marte. Este DVD-ROM está diseñado para ser leído en ordenadores personales de 2007. La información está archivada en una ranura en espiral en el disco. Un haz láser puede examinar la ranura o se puede usar un microscopio. Los pequeños hoyos y salientes representan los ceros y unos de la información digital. La ranura tiene aproximadamente 0,74 micrómetros de ancho. Para obtener más información, consulte los documentos del estándar ECMA-268 (disco DVD de solo lectura de 80 mm).

Los tres objetivos de calibración de colores de la sonda Phoenix. Todas las imágenes se obtienen con distintos filtros del espectro y al recibirlas las vemos

grises. Mezclando tres imágenes con los filtros adecuados obtendremos una imagen a color. Si los colores coinciden con los de las imágenes obtenidas en la Tierra antes de lanzarla, la cámara estará bien calibrada y veremos el paisaje en color real, o muy cercano al real. Imagen: JPL/NASA.

Uno de los instrumentos de Phoenix era MECA (Microscopy, Electrochemistry and Conductivity Analyzer), que analizaba las muestras del suelo y las observaba con un microscopio óptico y otro atómico. Las muestras se depositaban en una rueda con huecos rellenos de distintos sustratos, que se podían girar y colocarse por delante de las cámaras de los microscopios. En uno de los huecos se encontraba una minúscula placa conmemorativa de pocos milímetros de ancho (cada línea de texto tiene una altura de 0,1 mm, similar a un cabello humano). En ella se podían leer los nombres de compañeros del equipo que habían fallecido durante el diseño de la misión, los nombres de los bebés del equipo nacidos en esas fechas y un recuerdo especial a Thomas P. Meloy, el investigador principal emérito de MECA.

El calibrador de InSight antes de ser lanzada la misión. Podemos ver las banderas, los logos y los colores de calibración. En la parte de abajo a la derecha vemos un pequeño botón, que es uno de los

microchips con los nombres que volaron a Marte con la misión. El segundo botón se instaló semanas después de tomar esta imagen. Imagen: JPL/NASA.

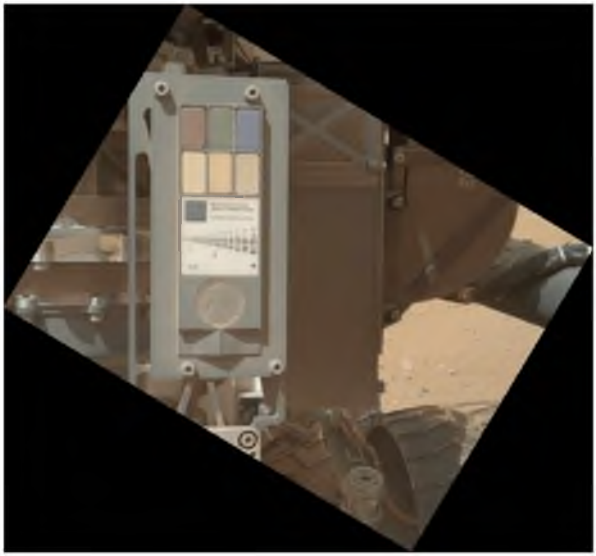
Por su parte, el aterrizador **InSight**, de 2018, también lleva un calibrador para su cámara principal IDC (Instrument Deployment Camera) en forma de placa de aluminio de 17 x 10 cm, con las banderas y logotipos de los países y organismos participantes en la misión. En la franja superior podemos ver las banderas de Francia, Alemania, Suiza, Reino Unido, Polonia, Japón, Austria, Bélgica, España y Canadá. Debajo se encuentran a mayor tamaño la bandera de Estados Unidos, el emblema de la NASA, el del CNES de Francia y el DLR alemán. Algo más abajo tenemos 5 círculos con los colores verde, azul, rojo, blanco y un tono de gris, debajo varios cuadrados inclinados y abajo del todo una escala de grises. Además es posible distinguir a ambos lados de la placa unos puntos de color rojo, que representan las letras «J», «P» y «L» en braille, siguiendo la tradición de la NASA de dejar mensajes encriptados en todas sus misiones marcianas. Un poco a la derecha del calibrador, en el compartimento principal de InSight, se encuentran los dos chips con los nombres de más de dos millones de personas que se apuntaron a través de Internet para viajar a Marte.

Y ya en 2021, el 14 de mayo aterrizaba en Utopia Planitia el rover chino Zhurong, la primera sonda que aterrizó con éxito en el planeta rojo y que no es de la NASA, tras numerosos fracasos soviéticos y europeos. El rover descendió por una rampa del aterrizador que lo llevó hasta la superficie y comenzó a obtener fotografías y examinar el terreno. El 11 de junio la agencia china CNSA publicó un espectacular selfi tomado por una cámara inalámbrica que el rover había dejado sobre el terreno. En la imagen se puede apreciar al rover junto a la plataforma de aterrizaje, que había desplegado una pequeña bandera china en uno de sus laterales. Junto a la bandera de China se pudo observar que había una imagen mostrando las

mascotas oficiales de los Juegos Olímpicos y Paralímpicos de Invierno de Pekín 2022. Por su parte, las ruedas llevan la inscripción de un hanzi (los caracteres chinos), en concreto «中», usado para escribir la palabra «China» (中国).

Los detalles curiosos que no conocías de Curiosity

Con la llegada del rover **Curiosity** a Marte se abrió una nueva época de exploración marciana, con instrumentos mucho más sofisticados y poderosos. Entre ellos están la cámara principal del mástil, llamada MastCam; la cámara de análisis químicos, llamada ChemCam; y la cámara del brazo robótico que toma fotografías microscópicas, llamada MAHLI. Por supuesto, entre los dispositivos que lleva Curiosity se encuentran varios objetivos de calibración para sus cámaras.



El objetivo de calibración de MAHLI en el frontal del rover. Podemos ver las seis placas de colores, la escala graduada para conocer la resolución de la imagen, el dibujo infantil del investigador principal, la moneda de Lincoln y un vértice en 3D para enfocar las imágenes tridimensionales. Imagen: JPL/NASA.

El objetivo de calibración para la cámara MAHLI del brazo robótico se encuentra acoplado en el frontal del rover, cerca del lugar donde se encuentra su «hombro». En la parte superior, podemos ver 6 placas de silicona que sirven como ayuda para calibrar el

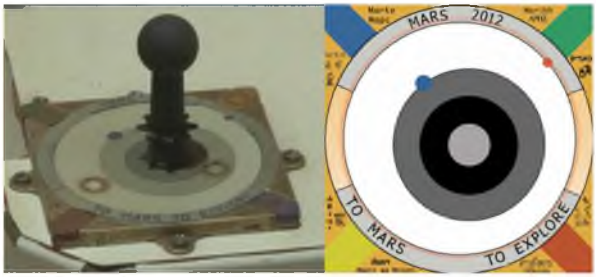
color y brillo de la cámara. Cinco de ellas son copias de las usadas en las misiones de Spirit y Opportunity, mostrando los colores rojo, verde, azul, 40 % gris y 60 % gris. La sexta placa contiene pigmentos fluorescentes que brillan en tonos rojos usando la luz ultravioleta del brazo robótico. Justo debajo se encuentra una barra gráfica numerada, que sigue el estándar de la Fuerza Aérea y que sirve para comprobar la resolución de la cámara. Cada número indica la cantidad de secuencias de color «blanco-negro» que caben en cada milímetro de la escala. También encontramos el logotipo de la empresa que fabricó la cámara, junto a la caricatura de un personaje de dibujos llamado Joe the Martian, que fue creado por Ken Edgett, investigador principal de la cámara MAHLI cuando tan solo tenía 9 años.

El calibrador de ChemCam, que se encuentra a un lado del generador nuclear de electricidad. El láser de ChemCam se dispara a los objetivos, vaporiza un punto del material y el espectrómetro de la cámara analiza su composición. Justo encima tenemos un logotipo del JPL, y a los lados los dos microchips (rodeados con un círculo rojo) con los nombres de más de 1 millón de personas. Imagen: JPL/NASA.

En su época escolar quedó muy marcado por las misiones Viking a Marte, que lo inspiraron para estudiar ciencias y acabó siendo un destacado investigador marciano. Más tarde, el personaje saldría en una revista infantil de divulgación de la

Universidad de Arizona llamada *Red Planet Connection*. En la parte de abajo podemos encontrar un centavo de dólar, acuñado en 1909 con la cara de Lincoln, en el centenario de su nacimiento. El uso de monedas en las fotografías geológicas es muy frecuente para permitir una comparación de tamaños fácil de entender. Esta moneda, junto a la zona escalonada inferior, permite calibrar y ensayar las fotografías en 3D que toma la cámara MAHLI.

Otro de los objetivos de calibración pertenece a la cámara láser ChemCam e incluye nueve círculos con materiales, similares a los que la sonda podría encontrarse en el planeta rojo. ¡Tenemos un robot disparando rayos láser en Marte! Los cuatro primeros son muestras con composiciones similares a las de varias rocas ígneas y la quinta es de grafito. En la parte inferior hay cuatro muestras de cerámica, similares a rocas sedimentarias marcianas, junto a una placa cuadrada de titanio para calibraciones del láser. De esta forma, la cámara puede disparar el láser a estos objetivos, vaporizar una pequeña zona y comprobar si los resultados de sus análisis coinciden con el resultado esperado. Justo detrás se encuentran los dos microchips que recogen 1,2 millones de nombres de la campaña «Envía tu nombre a Marte», así como varios dibujos infantiles y algunos dibujos de Leonardo da Vinci.

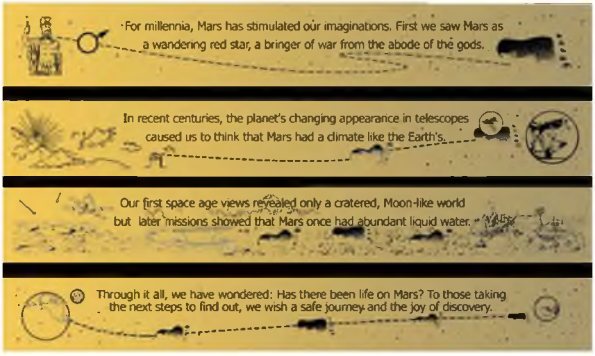


A la izquierda el calibrador de MastCam y a la derecha podemos ver con detalle sus inscripciones. Imagen: JPL/NASA.

Por último, la cámara principal MastCam también

lleva su propio objetivo de calibración, que es una pieza de repuesto de las misiones de Spirit y Opportunity, pero modificada para la ocasión. Al objetivo de 8 x 8 cm de tamaño, se le ha mantenido el reloj solar y se le han añadido seis imanes que permiten tener algunas zonas de color y grises libres de polvo marciano, al igual que se hizo en Phoenix. Los colores presentes ayudan al equipo de imagen a ajustar las fotografías, para obtenerlas con un color lo más parecido al natural. En la parte superior se pueden leer los mensajes «Mars 2012» y «To Mars, to explore», así como un punto rojo y otro azul representando la Tierra y Marte.

Como un extra del calibrador, el divulgador Bill Nye (The Science Guy) y el famoso artista Jon Lomberg (Cosmos) colaboraron para añadir nuevos mensajes en el reloj solar, entre ellos la palabra «Marte» escrita en 16 lenguas incluyendo el sumerio, maya, inuktitut y hawaiano. Además, en los laterales se incluyeron varios textos e imágenes dirigidos a futuras generaciones de exploradores de Marte, que incluyen esquemas de las misiones Mariner, Viking y MER, un observatorio, el dios Ares y huellas humanas como símbolo del viaje emprendido.



Textos e imágenes que adornan los cuatro laterales del calibrador de MastCam, diseñados por Bill Nye y Jon Lomberg, dirigidos a futuros exploradores del planeta rojo. Imagen: JPL/NASA.

Además, las ruedas también llevan un pequeño detalle y es que tienen código morse en forma de agujeros, que forman las letras «J», «P» y «L» (.--- .--. .-..), para referirse al JPL (Jet Propulsion Laboratory), donde fue construido el rover. De esta manera, al moverse por Marte, el rover va dejando marcas en el suelo de forma periódica y que son usadas como referencia visual. Esto permite a las cámaras del propio rover saber si se ha desplazado la distancia prevista, algo muy útil en zonas con algo de pendiente y donde el rover puede resbalar un poco.

Y acoplados a cuatro de sus barras de movilidad que unen las ruedas con el rover, se encuentran varios medallones redondos con un tamaño de 7 centímetros y que muestran la bandera de Estados Unidos, el logotipo de la NASA, del JPL y de la misión de Curiosity. En la parte frontal izquierda de la plataforma principal, Curiosity lleva una placa con las firmas del presidente Obama, el vicepresidente Biden, así como las de los principales responsables de la NASA y de la misión. La placa de aluminio anodizado mide 10 cm de alto por 8 de ancho y se encuentra acoplada con cuatro tornillos.

Perseverance, más cargado que el moflete de un hámster

El rover Perseverance, que aterrizó en Marte en febrero de 2021, es toda una caja de sorpresas. Y eso que no hablamos de lo que está descubriendo y descubrirá en el planeta rojo, sino de todo lo que lleva a cuestas. A los habituales cargamentos de nombres hacia Marte y calibradores varios se unen distintos homenajes y acertijos que la NASA ha querido poner en la sonda para rendir tributo y animar al público a descifrar los mensajes que la nave lleva consigo. Además de las típicas banderas de los EE. UU. y los logos del JPL y la NASA, esta es la lista de todas las cosas exóticas que nos podemos encontrar en el rover:

El paracaídas. Cuando el rover aterrizó en Marte llevaba una novedad increíble: unas cámaras mirando hacia arriba que nos permitirían observar en vídeo todo el descenso hacia la superficie, capturando el despliegue y funcionamiento del paracaídas de 22 metros de diámetro. Las imágenes fueron sorprendentes, pero días después la NASA insinuó que en el dibujo rojo y blanco del paracaídas se ocultaba un mensaje secreto codificado. En pocas horas, el misterio quedaba descifrado: el mensaje en clave está en código binario jugando con los colores del paracaídas. El código binario se representa con ceros y unos, siendo el «cero» una tira de color blanco y los «unos» una tira de color rojo. Si las agrupamos de siete en siete y con tres espacios en blanco para separar las letras y números entre sí, se puede leer la frase «Dare mighty things». Esa frase que significa «Atrévete a hacer cosas grandes» y es el lema del Jet Propulsion Laboratory donde se construyó la sonda, lugar donde esa frase también adorna las paredes. En el anillo exterior del paracaídas se encuentra codificado el código alfanumérico «34 11 58 N 118 10 31 W», que son las coordenadas GPS del JPL en California.

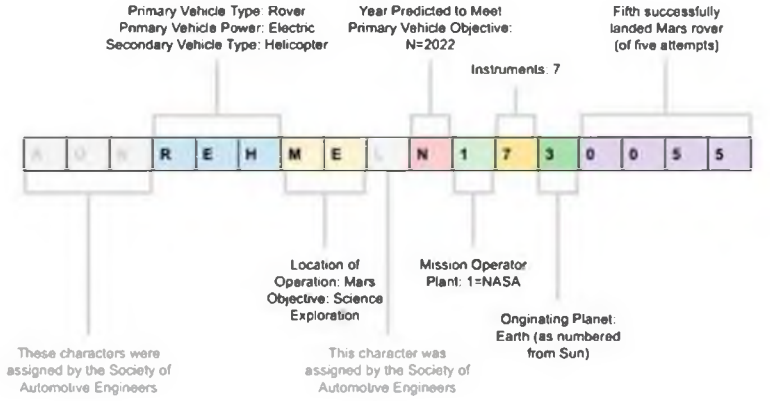
El código binario descifrado que lleva el paracaídas de Perseverance, donde podemos leer «Dare mighty things» (lema del Jet Propulsion Laboratory) y «34 11 58 N 118 10 31 W» (coordenadas GPS del JPL, en California). Imagen: JPL/NASA.

Placas con el nombre y el número de bastidor del vehículo. El rover lleva un brazo robótico para realizar análisis del terreno y recoger muestras del suelo. En ese brazo lleva dos placas con su nombre en las «articulaciones»: en la parte del brazo hay una placa de titanio que pone «Mars 2020», que es el nombre de la misión, y en la parte del antebrazo la placa pone «Perseverance», el nombre del rover. Aparte de la función decorativa, ambas placas protegieron durante la fase de aterrizaje el cableado que se encuentra debajo de estas. Además, su color oscuro les permite absorber algo más de calor y mantener los cables a una temperatura más elevada o, mejor dicho, menos baja.

El brazo robótico de Perseverance recién desplegado, con las dos placas con los nombres de la misión y el rover. Imagen: JPL/NASA

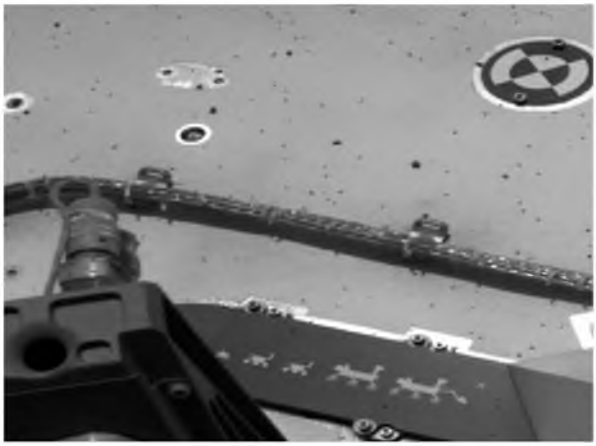
El extremo derecho de la placa «Mars 2020» con el número de bastidor en vertical. Imagen: JPL/NASA.

Como curiosidad, la placa que pone «Mars 2020» lleva a la derecha un número identificativo del vehículo (VIN) proporcionado por la Sociedad de Ingenieros de Automoción (Society of Automotive Engineers [SAE]) de los Estados Unidos. Este número se asigna a cada vehículo con ruedas que sale en circulación por las carreteras del país y permiten codificar mucha información como su tipo, el año de fabricación, la empresa constructora, la factoría, etc. Vamos, lo que generalmente conocemos como el número de chasis o bastidor. Y como otro dato curioso, Perseverance es el único rover o aterrizador de la NASA que no lleva una placa conmemorativa firmada por el que fuera el presidente de los EE. UU. en el momento del lanzamiento. Ya no sabemos si es porque la NASA no quería inmortalizarlo o porque a la Casa Blanca no le interesaba esta misión a Marte.



El código VIN para Perseverance es AON-REH-ME-L-N-173-0055. Entre otras cosas indica que es un rover eléctrico, que lleva un helicóptero, que se mueve por Marte para hacer ciencia, que cumplirá sus objetivos en 2022, que ha sido fabricado por la NASA, que lleva siete instrumentos, que fue hecho en la Tierra y que es el quinto rover que aterriza con éxito en cinco intentos. Imagen: JPL/NASA.

La evolución de la especie. Todos conocemos esa imagen en la cual se ven cinco figuras humanoides de perfil, que empieza por un mono a cuatro patas y finaliza en un *Homo sapiens* andando (o en cualquiera de sus variantes en forma de meme). Pues bien, el rover Perseverance lleva otra similar, en la que muestra la evolución de los rovers marcianos en los últimos 20 años, dejando un espacio en blanco a la derecha para lo que esté por venir.

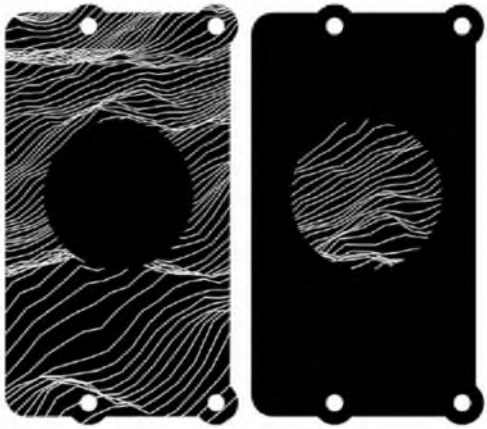


La pequeña placa de aluminio en el compartimento de Perseverance con las figuras de los rovers. De izquierda a derecha vemos: Sojourner (1997), Spirit y Opportunity (2004), Curiosity (2012) y Perseverance (2021), con su pequeño helicóptero Ingenuity volando al lado. Imagen: JPL/NASA.

Huellas y ADN. En la parte interna de la rueda delantera izquierda del rover, encontramos dos pequeños dibujos en blanco. El primero muestra una huella dejada por el propio rover, como representación de los avances tecnológicos para explorar lo desconocido. El segundo dibujo es otra huella que ha sido doblada para simular una cadena de ADN, representando que el deseo humano por explorar está en nuestro ADN. Poesía en estado puro en el planeta rojo.

Un poco de arte en Marte. El rover Perseverance tiene como uno de sus objetivos la recolección de muestras de suelo marciano, que serán recuperadas por el siguiente rover que vaya a Marte, para traerlas de vuelta a nuestro planeta. Para representar esa tarea, el rover lleva otra placa de aluminio acoplada en su parte inferior izquierda, con el dibujo del perfil topográfico de una parte del cráter Jezero, donde ha aterrizado la misión, pero a la cual le falta una pieza redonda en el centro. Esa parte que falta se encuentra actualmente en el JPL en otra placa, simbolizando que

hasta que las muestras no vuelvan, no podremos completar el puzle científico de la misión. ¡Toma profundidad poética, Paulo Coehlo!

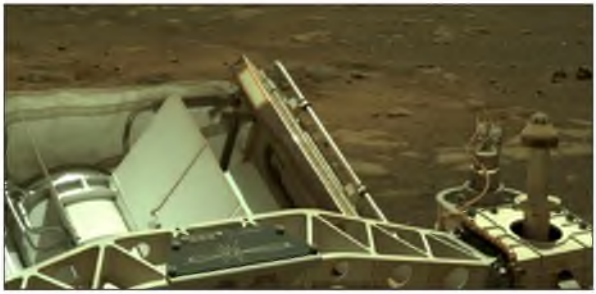


La pieza izquierda está en Marte y la derecha en el JPL, representando que nos falta todavía traer las muestras para completar el puzle científico de Marte. Imagen: NASA.

Homenaje al personal sanitario. Cuando el rover estaba acabado y tan solo faltaban los últimos retoques en el JPL y en el Kennedy Space Center, nos cayó encima la pandemia mundial de COVID-19, dificultando las tareas para dejar la sonda finalizada. Para homenajear la resolución y la perseverancia del personal sanitario durante la pandemia, el equipo diseñó esta placa llamada «Unity», que está colocada en la parte trasera del frontal izquierdo del rover. Todo un detalle para la eternidad.

Homenaje al personal sanitario, por su lucha contra la pandemia. Imagen: JPL/NASA.

Placa con 11 millones de nombres. De entre todas las misiones espaciales que han llevado nombres al espacio, esta es sin duda la que más nombres lleva a bordo. Esta sonda ha pulverizado todos los récords anteriores y porta 11 millones de nombres de frikis que un día decidieron enviar sus nombres, usando un formulario de la web de la NASA. Tres pequeños chips de silicio llevan los nombres grabados y se encuentran anclados a la placa llamada «Explore as One». Debajo encontramos una representación dibujada con láser de la Tierra y Marte a cada lado del Sol. Los rayos del Sol a su vez llevan codificada la frase «Explore as One», en código morse.



En la parte inferior de la imagen podemos ver la placa «Explore as One», con los tres chips portando los nombres en la parte superior izquierda y el dibujo en morse con el nombre de la placa, todo anclado en la parte trasera del rover, justo delante del generador nuclear. Imagen: JPL/NASA.

Calibrador de la cámara Mastcam-Z. La cámara Mastcam-Z es la más poderosa que lleva el rover en su mástil, preparada para tomar fotografías y con una espectacular función de *zoom*. Para trabajar con normalidad, necesita calibrarse periódicamente observando un objeto que reconozca fácilmente, lo que le permitirá enfocar y codificar correctamente los colores y brillos en las imágenes. Para ello, Perseverance lleva en su estructura un «objetivo de

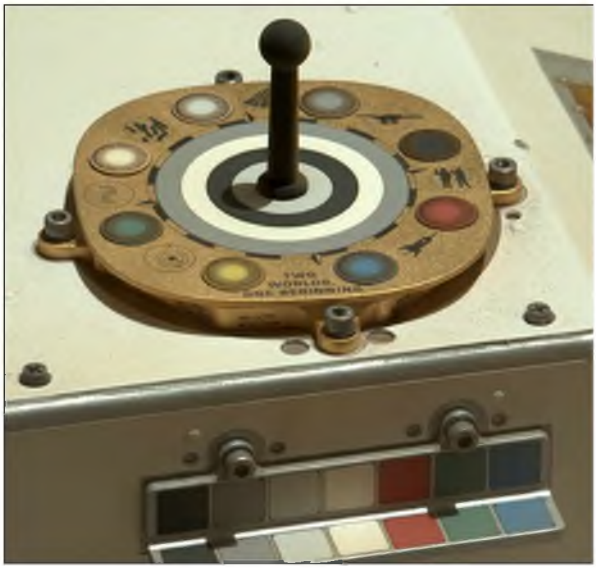
calibración» plagado de detalles:

- En la parte central tiene un mástil de color negro (gnomon), similar a los «relojes de sol» que llevaban Spirit y Opportunity.
- Tiene varios círculos concéntricos para los tonos de grises.
- Una zona divisoria negra y dorada.
- Y en la parte más exterior lleva círculos de varios colores y grises, mezclados con 7 dibujos que representan:
    - Mercurio, Venus, la Tierra y Marte orbitando el Sol.
    - Un fragmento de ADN.
    - Un dibujo de cianobacterias terrestres.
    - Un helecho, como representante de las plantas verdes.
    - Un dinosaurio.
    - Dos humanos saludando, un hombre y una mujer. Este dibujo es una versión modificada de los humanos que volaron (dibujados) en la placa Pioneer, pero con la mujer saludando y no en posición pasiva como estaba antes.
    - Un cohete espacial.
- Debajo tiene la frase «Two worlds, one beginning» («Dos mundos, un comienzo»).

Pero eso no es todo, porque en las pequeñas paredes laterales encontramos otros mensajes que están especialmente diseñados para que sean vistos por los futuros exploradores humanos. En ellos se lee la frase: «¿Estamos solos? Vinimos aquí en busca de signos de vida y para recoger muestras de Marte que se estudiarán en la Tierra. A aquellos que nos siguen, les deseamos un viaje seguro y la alegría del descubrimiento». Además, la frase «Joy of discovery» está escrita en cinco de los idiomas más usados del mundo: inglés, mandarín, hindi, español y árabe.

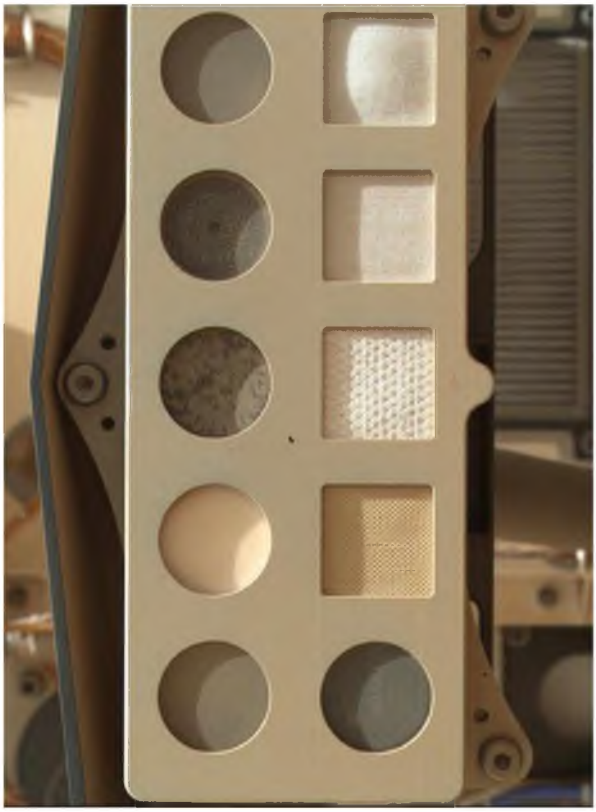
Vista de los laterales del calibrador con el mensaje para futuros exploradores y la frase «Joy of discovery» en 5 idiomas. Imagen: NASA/JPL-Caltech/ASU/Univ. Copenhagen.

Y un poco por debajo del calibrador principal, en una pared vertical, se encuentra otro calibrador que está formado simplemente por dos filas de colores y grises, que al no estar situados en el mismo plano que el calibrador principal tendrán una iluminación solar distinta, lo que permitirá comparar sus colores.



Objetivo de calibración de Mastcam-Z, con los colores en distintas posiciones para observarlos en diferentes condiciones de iluminación. En los círculos de colores podemos ver que la parte central de cada uno está más limpia que el exterior, ya que llevan un imán debajo para evitar que se pose encima el polvo marciano y conservar mejor el color original. Imagen: JPL/NASA.

El sorprendente calibrador de SHERLOC. Elemental, querido Watson. La famosa frase que pronunciaba el detective Sherlock Holmes en los libros de Arthur Conan Doyle vuelve a pronunciarse en Marte. Uno de los instrumentos que porta Perseverance recibe el original y rebuscado nombre de SHERLOC (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals). Y tal cual lo pusieron, se quedaron descansando. Este instrumento, que va en el brazo robótico, se encargará de examinar el terreno usando cámaras, láser y espectrómetros para buscar minerales y posibles compuestos orgánicos que sean restos de vida microbiana del pasado remoto de Marte.



El objetivo calibrador del instrumento SHERLOC con minerales y tejidos de referencia para su análisis. Imagen: JPL/NASA.

La cámara a color que tomará imágenes con todo detalle de las zonas examinadas se llama (comienza el redoble de tambores) WATSON, o Wide Angle Topographic Sensor for Operations and eNgineering. Todo un ejemplo de forzar un acrónimo para que ponga lo que nos interesa. Al no ser SHERLOC una cámara, no necesita colores para su calibración, sino materiales cuidadosamente escogidos y de composición perfectamente conocida, que analizará para comprobar que obtiene los resultados esperados. El objetivo de calibración es una placa de aluminio, con cinco discos en la parte superior de sílice y zafiro. En la parte inferior encontramos un círculo y cuatro

cuadrados, con fragmentos de materiales usados en la construcción de trajes de astronauta como el teflón, el vectran y el dacrón. Observando su degradación con el paso del tiempo y analizando cómo cambia su estructura y apariencia, la NASA podrá diseñar en el futuro mejores trajes para proteger a las tripulaciones que exploren el planeta.

Entre la fila superior de minerales, encontramos en la posición central un fragmento de un meteorito marciano. Y si acabas de leer esta frase, te ruego que la vuelvas a leer. Sí, el calibrador lleva un fragmento de meteorito que cayó en la Tierra en Omán en 1999 y cuyo origen resultó ser el propio planeta Marte. Ese meteorito llegó hasta nosotros como resultado de alguna gigantesca colisión de un gran asteroide contra el planeta rojo, lo que lanzó fragmentos al espacio, algunos de los cuales llegaron a nuestro planeta. Una parte del meteoro se encuentra en un laboratorio donde ha sido analizado y otro fragmento es el que se encuentra ahora mismo en el rover. Se trata del primer fragmento conocido de Marte que ha hecho un viaje de ida y vuelta al planeta rojo. El billete de ida fue cortesía de la naturaleza y el de vuelta cortesía de la tecnología humana.

En la cuarta posición de esa fila tenemos un disco de sílice fundido, al que se le ha impreso con láser un laberinto con la silueta de Sherlock Holmes en la parte central. No solo es un juego, sino que sirve para comprobar si el láser del instrumento tiene la resolución necesaria para escanear y trazar mapas de minerales en regiones muy pequeñas, de pocas décimas de milímetros de tamaño. Según la NASA, la búsqueda de respuestas es lo que guía a la misión, al igual que al famoso detective.

Imagen ampliada del laberinto del calibrador de SHERLOC, con la silueta del detective en la parte central. Servirá para calibrar el espectrómetro y el láser del instrumento. Imagen: JPL/NASA.

En la parte inferior del calibrador, el primer objetivo (de forma circular) está plagado de referencias a la obra de Doyle, como el texto «221BBAKER» en formato «geocache» (formato usado para realizar una especie de yincanas con GPS). Ese texto hace referencia a la casa donde vivía Sherlock Holmes (el n.º 221B de Baker Street), así como un código de «The Dancing Man» («El hombre bailando»), que aparece en una de sus historias cortas y que codifica la frase «Cache me if you can». Además, en la parte superior encontramos diversas líneas y números cada vez más pequeños que sirven para calibrar el instrumento. Está construido sobre un vidrio opalino (semitranslúcido) con marcas de cromo azul y una capa de policarbonato, que servirá para diseñar mejores visores para los cascos de los trajes de astronautas.

El histórico momento del primer vuelo de los hermanos Wright. Imagen: John T. Daniels / Biblioteca del Congreso EE. UU. / dominio público.

Momento del histórico vuelo de Ingenuity, en el que se levanta tres metros del suelo. Por primera vez algo hecho por humanos vuela en otro planeta que no es la Tierra. Imagen: JPL/NASA.

Gráfico que muestra todo el arsenal de cosas que tiene grabado este calibrador en concreto, como las líneas de calibración, la silueta de Sherlock Holmes, el código geocache de la casa del detective y figuras de «The Dancing Man». Imagen: JPL/NASA.

Calibrador de la SuperCam. La SuperCam, como su nombre indica, es un instrumento poderoso que lleva un telescopio para identificar los minerales que observa, además de un micrófono, cuatro espectrómetros y un láser para disparar a las rocas y analizarlas. ¡Tenemos dos robots disparando rayos láser en Marte! Para realizar las calibraciones de su cámara RMI (Remote Micro-Imager) usa una placa llamada SCCT (SuperCam Calibration Target). Esta placa fue puesta a prueba en el norte de España, donde se le realizaron varios test para ver si sobrevivía a las bajas temperaturas y al aterrizaje. La placa fue diseñada y construida por la empresa Added Value Solutions (AVS), de Elgoibar, en Guipúzcoa (País Vasco), y fue sometida posteriormente a numerosas pruebas en la Fundación CTA (Centro de Tecnologías Aeronáuticas) de Vitoria, con la colaboración del INTA

(Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). La mayoría de las muestras fueron fabricadas en Francia, así como la selección y coordinación de las mismas, que fue llevada a cabo por el IRAP (Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie) de Toulouse, en Francia, y en las universidades UVA (Valladolid), UPV-EHU (País Vasco) y UMA (Málaga) de España. Para seleccionar los materiales se buscaron aquellos con características similares a los que Perseverance se encontrará en el terreno.

En la placa podemos encontrar varios discos de colores, varias escalas de grises, una serie de números y líneas de diversos tamaños, muestras de 23 minerales, otro fragmento del meteorito marciano (en la parte superior izquierda) y un pequeño diamante, que servirán para comprobar si los datos adquiridos por los espectrómetros y el láser de SuperCam son correctos. Además, en la parte derecha porta una pequeña placa de titanio cuadrada para la calibración del láser.

Ingenuity también lleva un pedazo de historia. El pequeño y experimental helicóptero Ingenuity que lleva el rover también va cargado de simbolismo. Este helicóptero fue el primer objeto fabricado por el ser humano que ha volado de forma controlada en otro planeta. Para celebrarlo, llevaba en su interior un pequeño fragmento del avión que usaron los hermanos Orville y Wilbur Wright el 17 de diciembre de 1903 en Carolina del Norte. Estos hermanos realizaron el primer vuelo controlado en nuestro planeta, al recorrer 40 metros en 12 segundos en el primer intento. Para poder volar, el histórico avión debía estar cubierto de un material resistente, pero que fuera delgado y muy ligero, por lo que optaron por un tipo de tela llamado muselina, que está hecha de algodón y a la que llamaban «Pride of the West» («El orgullo del Oeste»). Ambos eventos están separados por 118 años y muchos millones de kilómetros, pero están unidos por un pequeño fragmento del material que cubría el ala del avión

Flyer de los hermanos Wright y que va a bordo de Ingenuity en su viaje a Marte. El minúsculo pedazo de tela del ala del avión fue fijado con cinta aislante alrededor de uno de los cables que el helicóptero tiene debajo de su panel solar superior. Esta no es la primera vez que un pedazo del Flyer vuela, ya que otro pequeño fragmento de tela y una astilla de madera del fuselaje volaron acompañando a la misión del Apolo 11 hasta la Luna en julio de 1969. Otro pedazo voló en la misión STS-95 del Transbordador Discovery en 1998, acompañando a John Glenn y Pedro Duque. Y en el 2000, un nuevo fragmento voló en la misión STS-92 del Discovery con Michael López-Alegría hasta la Estación Espacial, para celebrar el 100^{0} lanzamiento del Transbordador y el centenario del vuelo de los hermanos Wright. Aclaramos que los fragmentos son minúsculos y se cogen de algunos de los restos originales que quedan del avión, pero como sigamos haciendo tantos acontecimientos históricos, vamos a tener más restos en el espacio que en los museos.

Finalmente, el pequeño helicóptero entró en la historia en la mañana del 19 de abril de 2021, cuando realizó el primer vuelo propulsado y controlado en otro planeta distinto al nuestro durante 39 segundos. Aparte de la dificultad propia de volar un aparato a millones de kilómetros de nuestro planeta, hay que tener en cuenta que Marte tiene una atmósfera con una densidad del 1 % respecto a la de nuestro planeta y con una gravedad mucho menor. El vuelo de prueba consistió en ascender a 3 metros de altura, permanecer estable durante 30 segundos mientras giraba sobre sí mismo y aterrizar. Tras este vuelo llegaron otros más complejos, lo que abre la puerta a futuras misiones aéreas mucho más sofisticadas. Ese mismo día, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) le asignó a Ingenuity el distintivo oficial que se entrega a todas las aeronaves en el mundo, con el designador IGY-1. El «helipuerto» del cráter Jezero recibió el nombre oficial de JZRO.

Capítulo 15

Planeta rojo.
Historias marcianas

Pintando y pegando a mano las fotos que llegan de Marte

¿Recuerdas esos dibujos que tenías que hacer de pequeño, en los que cada zona del dibujo tenía un número y a cada uno le correspondía un color diferente? Bueno, pues algo así es lo que los técnicos de la NASA tuvieron que hacer con las primeras imágenes obtenidas de Marte por la sonda Mariner 4, en una maravillosa mezcla de tecnología y manualidades infantiles. Estamos en noviembre de 1964 (solo 7 años después del Sputnik-1) y la NASA lanzaba la misión Mariner 4 rumbo al planeta rojo. Tras el fallo en el lanzamiento de la Mariner 3 unos días antes, esta misión llegó a Marte en julio del año siguiente y sobrevoló con éxito el planeta. Esto fue un acontecimiento histórico, ya que por primera vez una sonda llegaba a Marte y nos enviaba a nuestro planeta fotografías de su superficie. En total la Mariner 4 nos envió 21 fotografías de muy baja resolución y calidad, pero fue todo un hito puesto que por primera vez podíamos ver Marte desde cerca y los científicos se frotaban las manos.

Una vez obtenidas, las fotografías fueron enviadas a nuestro planeta y debido a la tecnología de la época, el trabajo de procesado de la información para convertir los datos en imágenes podía tardar semanas. Pero como los científicos estaban impacientes por ver las fotografías, el equipo de telecomunicaciones preparó un sistema para convertir esos datos en números con valores entre el 20 y el 50, representando cada número a un píxel de la foto en función de su brillo. Una vez obtenidos los números, se pasaron a una impresora que los sacaba en grandes hojas de papel continuo. Estas hojas eran posteriormente recortadas con tijeras en largas y delgadas tiras que se pegaban a otras, de tal manera que cada tira de papel tuviera todos los píxeles de una sola línea de la imagen. Una vez impresas todas las tiras de papel se pegaron en un tablón por orden de impresión y una al lado de la otra. Una vez colocadas, a cada número del papel se le

asignó un color en una paleta de tonos pastel y se procedió a pintarlos a mano. Pero a mano, literalmente, con pequeños pinceles y pinturas que compraron en una tienda de manualidades cercana. Al terminar de pintar el «cuadro», se observó que los datos que se veían en el panel tenían sentido y se podía apreciar la curvatura del planeta, por lo que se confirmó que la cámara y la cinta grabadora de memoria funcionaban perfectamente. Días más tarde la imagen fue procesada informáticamente y se comprobó que se había obtenido un resultado similar, validando todo el proceso manual y automático. Para decepción de algunos, no había ni rastro de los famosos canales marcianos, que en esa fecha aún se pensaba que eran estructuras reales en la superficie del planeta rojo, e incluso aparecían en los mapas oficiales con los que se preparó la misión.

Dos técnicos finalizan el proceso de pegar y colorear a mano la primera imagen que nos llegaba de Marte. Imagen: JPL/NASA.

A la izquierda podemos ver el código de colores usados para pintar la fotografía. En medio vemos una ampliación de las tiras de números en la parte central de la imagen. A la derecha vemos la imagen final ya procesada. Imagen: JPL/NASA.

En los siguientes años, el programa Mariner siguió enviando nuevas sondas hacia Marte que obtenían más y mejores fotografías del planeta rojo. Las gemelas Mariner 6 y 7 fueron lanzadas en el verano de 1969, y mientras la primera envió un total de 75 imágenes, la segunda envió 126 fotografías de otras regiones del planeta. En 1971 se lanzó la misión Mariner 9, que se convirtió a finales de ese año en la primera sonda en entrar en órbita alrededor de Marte, enviando hasta 100 veces más información que el resto de misiones anteriores de forma conjunta. Gracias a sus más de 7000 imágenes, se obtuvo una primera visión general de cómo era el 100 % de su superficie y se descubrieron sus gigantescos cañones y volcanes. Hoy en día si queremos visualizar un planeta, existen herramientas digitales que nos permiten observarlo en 3D y realizar *zoom* sobre la región de interés para verla con más detalle. Sin embargo, a finales de los sesenta teníamos que seguir usando herramientas manuales que nos permitieran tener una imagen global del planeta. Para poder visualizar amplias regiones del planeta, la NASA imprimía en papel fotográfico las imágenes, que eran recortadas a mano y pegadas con cola en un tablero de color negro sobre una gran mesa. Una a una las imágenes eran analizadas y se iba componiendo un gran mosaico que nos revelaba las estructuras y el relieve de la superficie. Una vez finalizado se colgaba en una pared y se le realizaba una fotografía, que era la que finalmente se usaba para el público, la prensa y los estudios geológicos.

En la imagen vemos a Patricia «Patsy» Conklin, una de las especialistas del JPL que se encargaba de realizar los mosaicos de la misión Mariner 9 en 1972. En total se realizaron 96 mosaicos parciales de la superficie y tres mosaicos esféricos globales. Imagen: JPL/NASA.

Un científico de la misión va pegando las nuevas fotografías obtenidas por la Mariner 9 en una de las esferas marcianas, para tener una visión global del planeta. Una esfera completa constaba de 1500 imágenes que se imprimían usando las proyecciones Mercator, Estereográfica Polar y Lambert, en función de la latitud. Imagen: JPL/NASA.

Simultáneamente, el JPL preparó grandes esferas de 1,2 metros de diámetro, en las cuales se iban componiendo mosaicos globales de todo el planeta. Las imágenes recibidas se procesaban, se igualaban

en tono y contraste, se pasaban a papel fotográfico y finalmente se iban pegando en la superficie de la esfera, obteniendo así una imagen completa de Marte.

La terrible pérdida de la misión Mars Observer

En la actualidad la NASA tiene una enorme cantidad de misiones de forma continuada en la órbita y la superficie de Marte y lo vemos como algo normal. Sin embargo, en los años noventa eso no era así. Cuando en septiembre de 1992 se lanzaba la misión Mars Observer hacia el planeta rojo, la ilusión era máxima en el público y en la agencia, ya que la misión previa fue la Viking 2, lanzada 17 años antes y perdida ya en el recuerdo. Esta nueva misión era un ambicioso orbitador marciano que tenía como objetivo estudiar la superficie, la atmósfera y el campo magnético marciano. Su masa era de 1000 kg, dos paneles solares le daban 1147 W de potencia y portaba ocho instrumentos entre los que se encontraban una cámara de alta resolución, un altímetro láser, varios espectrómetros y un experimento de radio. Tras un lanzamiento perfecto en un cohete Titan III, la nave emprendió un viaje de 11 meses hacia Marte. El 21 de agosto de 1993, y tan solo 3 días antes de llegar al planeta rojo, la NASA perdió el contacto con la sonda. Todos los intentos posteriores por recibir alguna señal y recuperar el control fueron infructuosos y la nave no respondió a ninguno de los comandos enviados desde la Tierra. Por tanto, unos días después la nave no realizó el encendido previsto de sus motores y pasó de largo el planeta, quedando en órbita alrededor del Sol, y la NASA tuvo que dar por perdida la misión.

Una investigación posterior realizada para analizar los datos recibidos, así como para revisar los planos y materiales usados en su construcción, llegó a la conclusión de que las válvulas del combustible estaban mal diseñadas y tenían escapes. Como resultado, esto provocó una explosión en la sonda cuando se intentó encender el motor para realizar una maniobra de ajuste de la trayectoria. Aunque la misión obtuvo algunos datos científicos durante los once meses de vuelo, este fallo fue un duro golpe para la NASA, que reorganizó su programa de exploración marciana. Se volvieron a fabricar de nuevo la

mayoría de instrumentos de Mars Observer, que volaron con una segunda oportunidad en la misiones Mars Global Surveyor en 1996 y Mars Odyssey en 2001, en ambos casos con total éxito.

Cómo perder dos sondas en Marte en pocas semanas

Tras la pérdida de Mars Observer por parte de la NASA en 1993 y la pérdida en 1996 de la misión Mars 96 por parte de Rusia, la NASA se apuntó ese mismo año dos enormes éxitos que subieron la moral con el orbitador Mars Global Surveyor y el aterrizador Mars Pathfinder. Esta última misión llevó a la superficie de Marte por primera vez un pequeño rover llamado Sojourner. La NASA no iba a desaprovechar su racha y construyó un nuevo orbitador para estudiar la atmósfera llamado Mars Climate Orbiter (MCO), así como un aterrizador que se posaría en el polo sur llamado Mars Polar Lander. Esta misión además lanzaría dos pequeñas sondas que penetrarían la superficie y que fueron llamadas Deep Space 2. La MCO fue lanzada el 11 de diciembre de 1998 y el 3 de enero de 1999 se envió la Mars Polar Lander, aprovechando el periodo de lanzamiento a Marte. Los lanzamientos no tuvieron ningún incidente destacable y ambas sondas hicieron su camino hacia el planeta rojo como estaba previsto.

La llegada a Marte de MCO estaba programada para el 23 de septiembre de 1999, tras ocho meses de vuelo entre los planetas. Ese día la nave orientaría su motor principal en la dirección de vuelo y tras unos minutos de encendido quedaría frenada y orbitando el planeta rojo en una órbita de unos 421 km de altura. A las 9 de la mañana la sonda encendió su motor con normalidad y minutos después quedó oculta tras Marte, por lo que había que esperar a que la sonda reapareciera media hora después por el otro lado del planeta, para volver a recibir su señal. Sin embargo, el tiempo pasaba y no había ni rastro de ella. La NASA lo intentó todo y envió comandos por si la sonda estaba en «modo seguro» y se había desconectado por algún fallo o problema. Horas y días de esfuerzos no lograron recibir ni una sola señal de la sonda y la NASA la dio por perdida. La pesadilla de Mars Climate Orbiter se repetía seis años después. Pero el ridículo

mayúsculo llegaría tras la investigación, en la que se concluyó que la sonda en realidad se había desintegrado en la atmósfera marciana, ya que las instrucciones para el encendido del motor se las enviaron utilizando unidades «imperiales» como las «libras por segundo», en lugar de convertirlas al sistema métrico que usaba la sonda en «newtons por segundo». De esta manera la sonda en lugar de hacer un frenado a 150 km de altura, lo hizo a 57 km de altura y por tanto se desintegró en la atmósfera. Ver para creer.

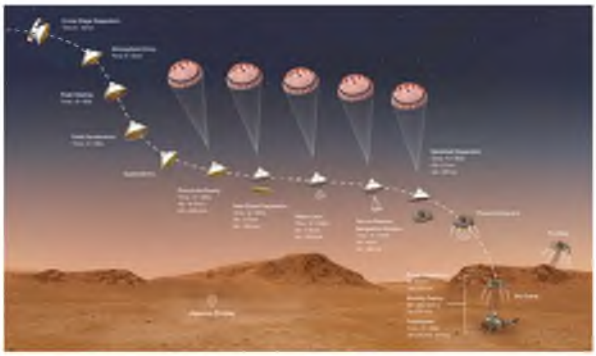
Pero si piensas que las cosas no podían empeorar, te equivocas. El 3 de diciembre, y solo diez semanas más tarde, llegó a Marte la sonda Mars Polar Lander. Diez minutos antes de aterrizar, la sonda soltaría su etapa de crucero y haría descender a la superficie los dos penetradores llamados Deep Space 2. Estas dos minisondas de 3,5 kg cada una debían atravesar la atmósfera marciana e impactar a las 21:13 h contra el suelo, para analizar las características del terreno bajo ellas. Por su parte la MPL atravesaría a la vez la atmósfera con su escudo térmico, desplegaría un paracaídas y posteriormente usaría unos motores para frenarse, hasta llegar con suavidad a posarse en el suelo. A las 21:14 h la sonda tendría que estar en la superficie y desplegaría su antena para comunicarse con la Tierra unos 24 minutos más tarde, cuando la Mars Global Surveyor la sobrevolara. En aquella época todavía no se enviaban señales en directo para conocer el estado del descenso y tampoco teníamos varias sondas orbitando el planeta para hacer de repetidores como en la actualidad. Bueno, tendría que haber estado la Mars Climate Orbiter, pero ya sabemos qué pasó con ella. Así que se preparó la Mars Global Surveyor para que sobrevolara la zona de aterrizaje y recibiera las esperadas primeras señales. No obstante, ni en la hora prevista, ni minutos después, ni en el día siguiente se recibió ningún tipo de señal por parte de ninguna de las tres sondas desde el suelo. Tanto el aterrizador MPL como los

impactadores estaban en completo silencio y ni desde las antenas en la Tierra, ni desde Mars Global Surveyor se lograba establecer una sola conexión. Tras dos semanas de intentos desesperados, enviando señales y escuchando en las frecuencias esperadas, nada se consiguió y la NASA dio por perdida todas las naves.

La crisis en la NASA era total y una investigación se puso en marcha para averiguar las causas de otra nueva misión perdida en pocas semanas. En marzo de 2000, la investigación concluyó que la causa más probable fue que en el descenso final, la sonda desplegó sus patas para posarse y unas falsas señales indicaron a los motores que ya había tocado el suelo, por lo que se apagaron. Sin embargo, la sonda aún estaba a muchos metros de altura sobre la superficie, por lo que acabó estrellándose y quedó completamente destruida. Todo el programa marciano de la NASA estaba en el aire y la consigna de la agencia para construir sondas «más rápido, mejores y más baratas» no estaba saliendo como se esperaba. Como en cualquier historia de la ciencia que se precie, los errores cometidos sirvieron para aprender duras lecciones. Por tanto, las siguientes sondas a Marte pasaron por procesos de construcción y revisión más duros, aparte de dotar a todas las sondas que bajaran a la superficie marciana de sensores, que enviarían su estado en directo a la Tierra. De esa manera se puede conocer en cada instante si la nave está aterrizando como se espera o si surge algún problema, que al menos nos permita conocer dónde está el fallo para corregirlo en las siguientes misiones. Las primeras en usar estos nuevos sistemas fueron los rovers Spirit y Opportunity, y desde entonces todas las misiones marcianas de la NASA han sido un éxito rotundo.

Siete minutos de terror. Llegada de Perseverance a Marte

Es habitual que cada vez que una sonda llega a Marte se hable en los medios de los famosos «7 minutos de terror». ¿Qué quiere decir esto? ¿Durante el descenso suenan canciones de Ramoncín o Bertín Osborne? No, es menos terrible que eso, ya que la sonda en su caída puede fundirse, explotar y estrellarse de muchas formas diferentes, de ahí lo de los «minutos de terror». Pongamos el ejemplo de Perseverance, que tras ser lanzada el 30 de julio de 2020, realizó un tranquilo viaje de seis meses y medio hasta el planeta rojo, recorriendo 471 millones de kilómetros. A pocos días de la llegada, la sonda comenzó a sentir la gravedad marciana y su velocidad fue aumentando poco a poco. Estas son, resumidas, todas las fases por las que pasó la misión desde ese momento hasta que se posó con suavidad en el suelo, en sus particulares «7 minutos de terror»:

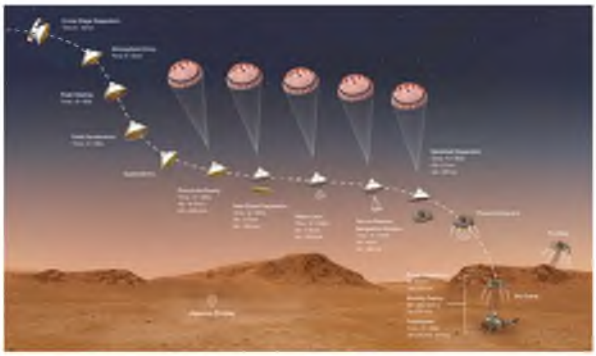


Fases del descenso (EDL) de Perseverance en el cráter Jezero. Toda una coreografía tecnológica desarrollada el 18 de febrero de 2021 a millones de kilómetros de nuestro planeta de forma autónoma. Imagen: JPL/NASA.

- Cuando faltaban 16 minutos para aterrizar, la nave viajaba a 17 000 km/h (y en aumento), estaba a 1560 km de altura respecto de la

Siete minutos de terror. Llegada de Perseverance a Marte

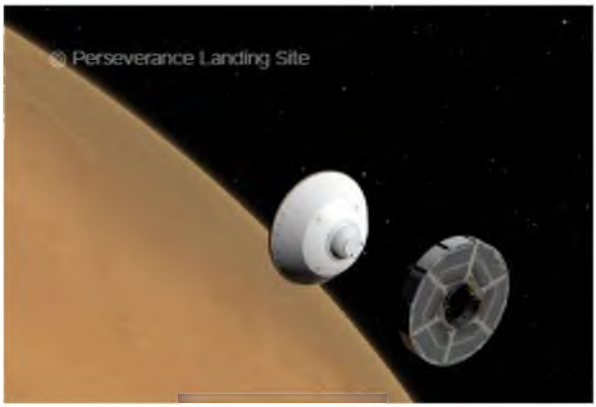
Es habitual que cada vez que una sonda llega a Marte se hable en los medios de los famosos «7 minutos de terror». ¿Qué quiere decir esto? ¿Durante el descenso suenan canciones de Ramoncín o Bertín Osborne? No, es menos terrible que eso, ya que la sonda en su caída puede fundirse, explotar y estrellarse de muchas formas diferentes, de ahí lo de los «minutos de terror». Pongamos el ejemplo de Perseverance, que tras ser lanzada el 30 de julio de 2020, realizó un tranquilo viaje de seis meses y medio hasta el planeta rojo, recorriendo 471 millones de kilómetros. A pocos días de la llegada, la sonda comenzó a sentir la gravedad marciana y su velocidad fue aumentando poco a poco. Estas son, resumidas, todas las fases por las que pasó la misión desde ese momento hasta que se posó con suavidad en el suelo, en sus particulares «7 minutos de terror»:



Fases del descenso (EDL) de Perseverance en el cráter Jezero. Toda una coreografía tecnológica desarrollada el 18 de febrero de 2021 a millones de kilómetros de nuestro planeta de forma autónoma. Imagen: JPL/NASA.

- Cuando faltaban 16 minutos para aterrizar, la nave viajaba a 17 000 km/h (y en aumento), estaba a 1560 km de altura respecto de la

superficie y a 3540 km del lugar de aterrizaje. En ese momento se desprenden los paneles solares y los pequeños motores que le han ayudado a llegar hasta allí. La entrada en la atmósfera de Marte debe realizarse con una entrada en un ángulo muy concreto, ya que si entra demasiado en vertical la cápsula se quemaría en la atmósfera como un meteorito. Y si la hiciera muy rasante, rebotaría como una piedra lanzada con fuerza a un estanque.

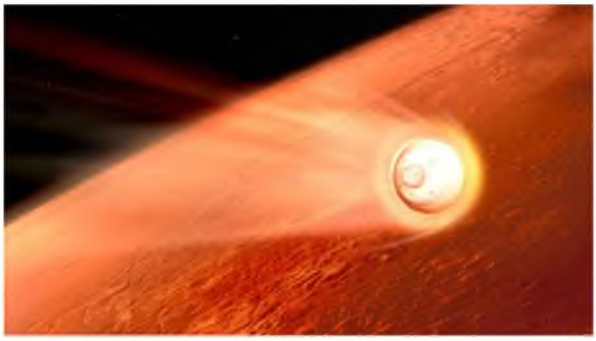


Los paneles solares se separan de la cápsula al finalizar su función. Imagen: JPL/NASA.

- Mientras tanto el rover se mantiene protegido dentro de los escudos, el delantero para absorber el calor y el trasero además portando el paracaídas. En ese momento la cápsula detiene su giro sobre su eje (de 2 rpm), que le ha ayudado a estabilizarse durante el viaje. Instantes después, expulsa unas pesas de 140 kg que mantenían el equilibrio de la cápsula mientras giraba.
- Cuando faltan 7 minutos para aterrizar, la cápsula comienza a sentir ya las capas más altas de la atmósfera a 128 km de altura. En ese momento se desplaza a una velocidad de 19 210 km/h y aún le quedan 625 km por recorrer hasta el cráter Jezero. Aquí

comienzan oficialmente los siete minutos de terror, durante los cuales la sonda tendrá que pasar de caer a una velocidad de 5,3 km/s a estar parada (y de una pieza) en la superficie. Y para ello debe usar un escudo protector, un paracaídas, unos retrocohetes y quedarse colgando de unos cables, todo en perfecta sintonía y funcionando al segundo y al milímetro.

Quedan 6 minutos. Durante los primeros segundos de descenso la atmósfera no es demasiado densa y nuestra velocidad ha seguido subiendo hasta los 19 475 km/h. En ese momento estamos a 334 km del lugar de aterrizaje y nuestra altura es de 54 km sobre la vertical del suelo. Pocos segundos después, la temperatura del escudo térmico delantero comienza a subir vertiginosamente y ya se empieza a quemar, creando una bola de plasma alrededor de los escudos. En esos instantes, unos pequeños motores se encienden varias veces durante unas décimas de segundo, cuando detectan las distintas capas de aire para corregir las oscilaciones y asegurar la trayectoria. Durante el siguiente minuto y medio, el plasma envuelve la cápsula a 1370 °C y el material térmico del exterior resiste las altas temperaturas mientras se va quemando, sublimando y desapareciendo. Este brutal rozamiento provoca que la nave se frene con una altísima desaceleración, lo que pondrá a prueba el diseño del rover y su resistencia.

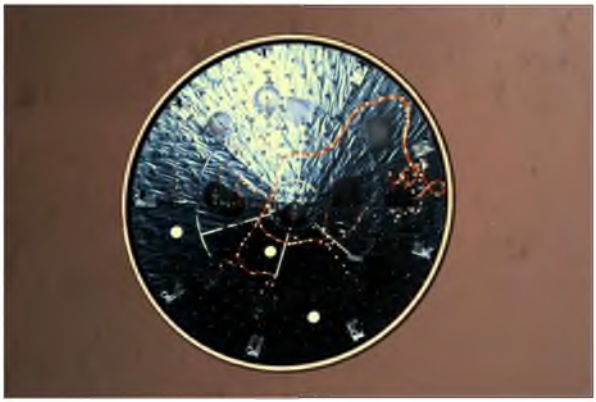


La cápsula que protege al rover y la grúa en pleno descenso, rodeada por plasma a 1370 °C y una velocidad de casi 20 000 km/h. Imagen: JPL/NASA.

- Quedan 4 minutos y medio. La velocidad ha logrado ser reducida de forma radical a «tan solo» 3300 km/h. En ese instante nos encontramos a 16 km de altura, pero todavía a 65 km de nuestro destino. Durante esta fase, la sonda sigue descendiendo tanto en vertical como en horizontal, aunque a partir de ahora el descenso en vertical irá ganando peso. Durante otros 90 segundos la nave seguirá descendiendo y perdiendo velocidad por rozamiento, aunque ya a menor temperatura.
- Quedan 3 minutos. La nave se ha orientado para caer en vertical y expulsa otros seis contrapesos que le ayudaban a mantener la orientación correcta. Quince segundos después se abre el paracaídas a una altura de 11 km (quedan 12,5 km hasta el lugar de aterrizaje) y una velocidad de descenso de 1500 km/h. Esta alta velocidad ayudará al despliegue del paracaídas, que deberá soportar unas altas tensiones y frenar la mayor parte de la velocidad que le queda a la sonda, que ya puede ver muy cerca el suelo.

El paracaídas de 21 metros de diámetro recién desplegado y captado por una cámara en el escudo trasero. Imagen: JPL/NASA.

- Quedan 2 minutos y 25 segundos. Otros 20 segundos más tarde, el escudo térmico delantero se separa, ya que ha cumplido su función y deja «los bajos» del rover al aire. Por primera vez, dos cámaras grabarán un vídeo del despliegue y funcionamiento del paracaídas, mientras otras cámaras grabarán la separación del escudo y el descenso de la nave hasta el suelo.



El escudo térmico unos segundos después de separarse. Imagen: JPL/NASA.

sigue funcionando y un sistema de radar comienza a tomar datos para reconocer el terreno y compararlo con el que tiene almacenado en la memoria. De esa manera, la sonda, que está dotada de un sistema de inteligencia autónoma, podrá realizar correcciones por su cuenta durante el descenso y dirigirse a una zona segura para aterrizar. Estamos a 4,5 km de altura y nuestra velocidad todavía es de 325 km/h. En 5 segundos el ordenador ha reconocido el terreno y ya tiene claro dónde aterrizará, por lo que en el descenso final llevará al rover a esa zona.

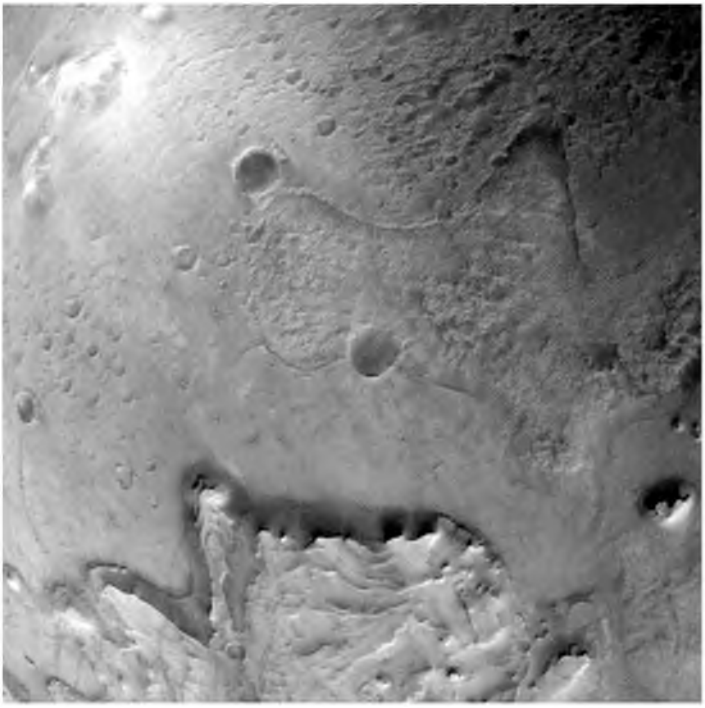


Imagen tomada por la cámara LVS que analiza el terreno y busca la mejor zona para aterrizar. Imagen: JPL/NASA.

- Queda 1 minuto. Este es otro momento que pone los pelos de punta, ya que el escudo

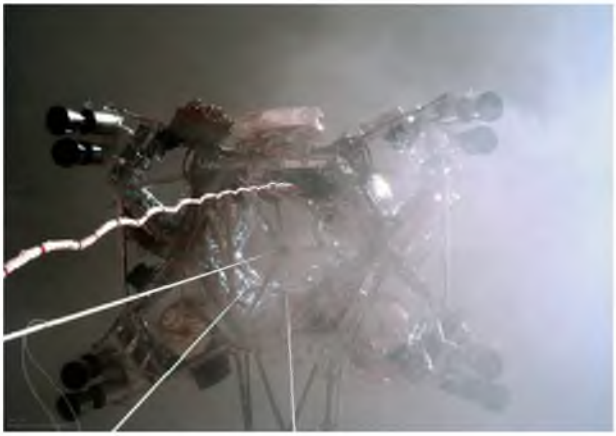
realizan una caída libre desde los 2,2 km de altura y a una velocidad de 300 km/h. Los ocho motores de la grúa de descenso se ponen a máxima potencia para estabilizar la caída y van llevando al rover a la zona de aterrizaje calculada con anterioridad. Durante 45 segundos los motores deben descender más de 2 kilómetros mientras sustentan el rover y lo hacen bajar hasta casi tocar el suelo.

- Quedan 16 segundos. La grúa con sus motores queda estabilizada a 22 metros de altura. En ese momento su velocidad es de apenas 2,7 km/h y la potencia de los motores baja a la mitad. En ese instante el rover se separa de la grúa, despliega las ruedas y comienza a descender unido por unos cables de 7 metros, mientras la grúa lo sigue manteniendo en el aire de forma estable y realizando un lento descenso.

El rover Perseverance visto desde la grúa justo un instante antes de tocar el suelo. Se aprecian los tres cables de los que colgaba y otro para enviar los datos e imágenes al rover, como esta misma foto. Imagen: JPL/NASA.

- Quedan 0 segundos. Las ruedas de Perseverance tocan el suelo, los cables de los

que cuelga pierden tensión y en ese momento los corta. Esto permite que la grúa se aleje de la zona para estrellarse unos cientos de metros más allá y no dañar al rover. En ese instante, varias cámaras del rover siguen grabando toda la escena (si no has visto los vídeos, busca «Perseverance landing video» en YouTube, no te los pierdas) y los sensores analizan la situación de Perseverance, enviando todos los datos a los orbitadores que en ese momento sobrevuelan la zona, para enviar los datos en directo a nuestro planeta. Las señales nos llegarán 11 minutos y 22 segundos más tarde, ya que en ese momento Marte se encontraba a 205 millones de kilómetros de nuestro planeta.



La grúa de descenso vista desde el rover, unido por tres cables y con un cuarto cable para pasar las fotos y los datos desde la grúa antes de separarse. Imagen: JPL/NASA.

- Segundos después los datos confirman que el rover está a salvo y la NASA declara que el aterrizaje ha sido un éxito total. Acabaron los minutos de terror y comienzan los años de ciencia para Perseverance.

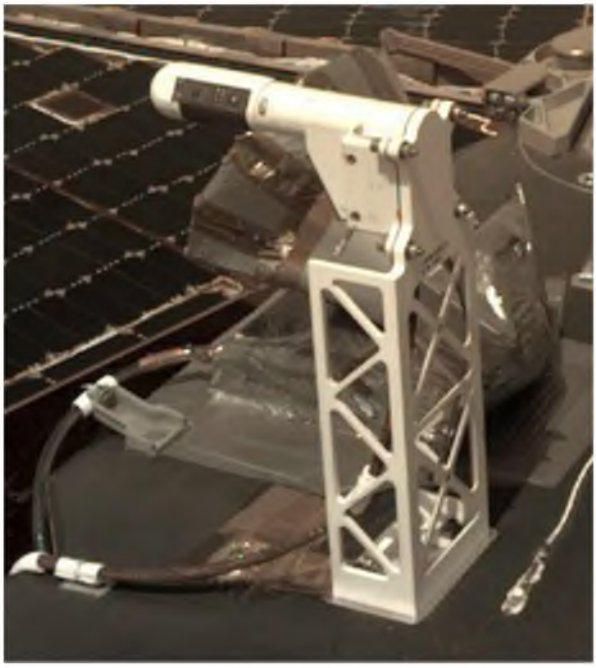
Tecnología española en Marte

Por desgracia nuestro país no es puntero en muchos campos tecnológicos y de investigación. Sin embargo, en la pequeña lista de cosas en las que destacamos, se encuentra la participación con instrumentos y tecnología en misiones a Marte. Por supuesto, siempre he pensado que hay que criticar aquellas cosas que no se hacen bien, para lograr una mejora. Pero también hay que reconocer las cosas que hacemos bien, aunque sea para coger un poco de moral. España es uno de los países del mundo que más tecnología ha enviado a Marte, tanto en colaboración con la NASA como con la Agencia Espacial Europea. Este es un repaso a todo lo que hemos logrado hasta ahora.

Tener una estación meteorológica en Marte ya no es una novedad. Las dos primeras las llevaron los aterrizadores Viking 1 y Viking 2 de la NASA, que llegaron al planeta rojo en 1976 y estuvieron operando durante varios años. Durante ese tiempo enviaron los primeros datos sobre las temperaturas en la superficie de ese planeta, que variaban entre los -20 °C y los -100 °C del verano, y entre los -60 °C y los -120 °C del invierno. En 1997 llegaría la misión Mars Pathfinder, que también llevaba una estación meteorológica en la plataforma fija llamada Carl Sagan Memorial Station. Los rovers Spirit y Opportunity que llegaron a Marte en 2004 no llevaban estación meteorológica, pero sí la incorporaba el aterrizador polar Phoenix. Su estación meteorológica MET fue diseñada y preparada en Canadá, con la colaboración de instituciones de Dinamarca y Finlandia.

Instalación de los dos pequeños brazos de REMS en el mástil principal del rover Curiosity. Imagen: JPL/NASA.

En el año 2012 aterriza en Marte el gran rover Curiosity, con una nueva estación meteorológica llamada REMS (Rover Environmental Monitoring Station) y diseñada por primera vez en España, por medio del Centro de Astrobiología (CAB), el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) y la empresa CRISA. El equipo estaba liderado por Javier Gómez-Elvira, e incluía la participación del Finnish Meteorological Institute, que aportaba los sensores de presión y humedad. El instrumento es capaz de medir la humedad, la presión, las temperaturas del aire y el suelo, la velocidad de los vientos y la radiación ultravioleta. REMS está formado por dos pequeños brazos que se encuentran en el mástil del rover, un sensor ultravioleta (UVS) encima del cuerpo de Curiosity y la unidad de control que está dentro del rover, tomando mediciones de los sensores cada segundo durante 5 minutos y repitiendo la operación cada hora. REMS fue el primer instrumento científico español enviado a la superficie de Marte.



Uno de los mástiles de la estación meteorológica TWINS de la sonda InSight. Imagen: JPL/NASA.

En 2018 era el turno del aterrizador InSight, que lleva una segunda estación meteorológica española llamada TWINS (Temperature and Wind for InSight). Esta estación fue diseñada y construida por el Centro de Astrobiología, el INTA y la empresa CRISA. El equipo del instrumento está liderado por José A. Rodríguez Manfredi y es una versión mejorada del instrumento REMS de Curiosity. TWINS proporciona datos de la temperatura del aire, la velocidad y dirección de los vientos y la presión con una frecuencia mucho mayor que REMS. Además porta un magnetómetro proporcionado por UCLA (Universidad de California).

Y el 18 de febrero se incorporaba al grupo el rover Perseverance, portando la tercera estación española llamada MEDA (Mars Environmental Dynamics Analyzer). Este instrumento también fue diseñado y desarrollado por el INTA y el Centro de Astrobiología,

con un equipo liderado por José A. Rodríguez Manfredi. MEDA contiene diversos sensores distribuidos en los dos mástiles y el cuerpo del rover para medir las condiciones ambientales en el cráter Jezero. Miden cada hora la dirección y velocidad del viento, la temperatura en el aire y el suelo, la humedad relativa, la presión atmosférica, la radiación solar visible, infrarroja y ultravioleta, así como las características del polvo en suspensión. Además lleva una microcámara que observa el cielo para conocer su opacidad y detectar la presencia de nubes.

Con la llegada de Perseverance, España es el único país del mundo que no solamente tiene tres estaciones meteorológicas en Marte, sino que las tres están funcionando a la vez. Esto en la práctica es una auténtica red meteorológica marciana, que permitirá estudiar las temperaturas durante fenómenos globales, como las tormentas de polvo. Sin lugar a dudas, este es el camino (*this is the way!*) que tiene que seguir nuestro país, puesto que no solo se vive de turismo y bares (que también), sino que es necesario apostar más que nunca por el talento y la ciencia como forma imprescindible para progresar y crecer como país.

Pero la participación española en estas misiones marcianas no termina aquí, ya que la antena de alta ganancia (HGAS) de los rovers Perseverance y Curiosity también han sido construidas en España. Esto ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) y la colaboración de las empresas como Airbus Defence & Space España y Sener. Estas antenas permiten la comunicación directa de los rovers con la Tierra sin tener que depender de los orbitadores marcianos, tanto para el envío de datos e imágenes como para la recepción de comandos que no puedan esperar al sobrevuelo de alguna sonda. Asimismo, tienen un sistema de seguimiento de las sondas en órbita que le permite enviar y recibir información a mucha más

velocidad.

Y por supuesto, España también ha participado en las misiones europeas a Marte, empezando de forma muy discreta, pero con una aportación cada vez mayor. La primera y tímida aportación a una misión europea fue un sensor ultravioleta del Centro de Astrobiología y la Universidad Complutense de Madrid para la sonda británica Beagle-2 en 2003. Esta misión llegó al planeta rojo junto con la sonda Mars Express, y por desgracia no funcionó en la superficie tras aterrizar. Además, la aportación española al orbitador Mars Express consistió en la construcción de la antena principal de alta ganancia de la sonda (EADS-CASA), parte del espectrómetro PFS (Instituto de Astrofísica de Andalucía), diversos componentes electrónicos, el adaptador que ancla la sonda al cohete y la colaboración en el análisis de los datos enviados en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, el Centro de Astrobiología y la Universidad Politécnica de Catalunya.

La antena de alta ganancia HGAS de Perseverance, similar a la del rover Curiosity, diseñada y desarrollada en España. Imagen: NASA/Ministerio de Ciencia e Innovación.

En octubre de 2016 llegó a la órbita de Marte la sonda europea ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO), que contaba con participación española (del IAA y la UPM) en el instrumento NOMAD (Nadir and Occultation for

Mars Discovery) que fue desarrollado en Bélgica. La sonda TGO llevó hasta Marte el aterrizador euro-ruso Schiaparelli, que se estrelló en el descenso hasta la superficie. Dentro del aterrizador también había participación española en los instrumentos DREAMS (por parte del INTA) y AMELIA.

Para la misión ExoMars 2022, España participa de forma mucho más ambiciosa con instrumentación tanto en el aterrizador ruso Kazachok como en el rover europeo Rosalind Franklin. Dentro del aterrizador, la aportación española se centra en el instrumento sueco HABIT (Habitability, Brine, Irradiation and Temperature), que investiga el vapor de agua en la atmósfera, la radiación ultravioleta y las temperaturas. En este instrumento se encuentran componentes que ya han sido probados en el instrumento REMS, que voló a Marte con Curiosity. El aterrizador también lleva una estación meteorológica llamada METEO-M, cuya participación española (INTA) consiste en el conjunto de sensores RDM (Radiation and Dust Sensors) y el sensor AMR (Anisotropic Magneto-Resistance), que medirá los campos magnéticos. Y en el sofisticado rover Rosalind Franklin, España realiza su aportación más importante, al liderar el instrumento RLS (Raman Laser Spectrometer), cuyo investigador principal es Fernando Rull y cuenta con la participación del Centro de Astrobiología, la Universidad de Valladolid y el INTA. Este instrumento se encargará de obtener análisis químicos del terreno y las rocas de la superficie, con especial interés en minerales formados en la presencia de agua y su posible composición orgánica.

Y todo eso por la parte científica, ya que por la parte industrial son numerosas las compañías españolas que cada vez tienen un protagonismo mayor a la hora de desarrollar componentes y subsistemas de las sondas. Entre las empresas y organismos que son coordinados por el Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) podemos destacar a Airbus Defence

and Space España, Elecnor Deimos, GMV, SENER, LIDAX, TAS-E, RYMSA e Iberespacio, entre otras muchas. Invertir en ciencia, en tecnología y en el espacio puede parecer caro, pero el retorno científico y tecnológico es mucho mayor que la inversión y lo realmente caro es quedarse atrás. Un país que no vea eso, no tiene demasiado futuro.

Los agujeros en las ruedas de Curiosity van dejando impresas las letras «J», «P» y «L» en código morse en el suelo marciano. Imagen: JPL/NASA.

Placa en la cubierta de Curiosity, con las firmas de Obama, Biden y los directivos de la NASA. Imagen:

JPL/NASA.

Capítulo 16

Sondas a la fuga. La velocidad de escape

Imaginemos que estamos en la calle y lanzamos una pelota de tenis hacia arriba. Tras unos segundos volando, la pelota volverá a caer al suelo, como era de esperar. En ese momento, y sin que sea ninguna sorpresa, tenemos claro que nuestra pelota no va a llegar nunca al espacio, dado que no lleva la suficiente velocidad. Ahora supongamos que estamos con nuestro supertraje de astronauta en la superficie de un pequeño asteroide. Miramos nuestra mano y resulta que tenemos la pelota de tenis (no me preguntéis por qué) y en un arrebato inexplicable la lanzamos hacia arriba. Es muy probable que pasado un rato la pelota vuelva a caer, puesto que la gravedad es siempre baja en un asteroide, pero apreciable. Ahora la tiramos unas cuantas veces más, cada vez más fuerte, y veremos cómo unos intentos más tarde la pelota ya no vuelve: hemos alcanzado la conocida como «velocidad de escape» o «segunda velocidad cósmica» del asteroide. Esa pelota ya no volverá jamás a la superficie y habrá entrado en una amplia órbita alrededor del Sol. Nuestro planeta, al ser mucho más masivo, no nos ha permitido lucirnos de la misma manera.

Cada cuerpo celeste tiene su propia velocidad de escape, de la que ya podemos deducir que mientras mayor sea el objeto, más gravedad tendrá y por tanto la velocidad de escape será mayor y más difícil será escapar de su superficie. En cuerpos celestes pequeños como los asteroides, Plutón o Mercurio, la velocidad de escape es pequeña, dado que hay poca gravedad contra la que luchar. Sin embargo, abandonar las «superficies» de Júpiter, Saturno o el Sol es mucho más costoso, ya que sus enormes masas ejercen una gran gravedad contra cualquier objeto que quiera salir de su superficie. Para la Tierra este valor se encuentra en 11,2 km/s (unos 40 320 km/h), así que si logramos superar esa velocidad abandonaremos la tiranía gravitacional terrícola. Ahora entendemos por qué nuestra pelota de tenis no

consiguió escapar cuando la lanzamos a mano, pero si lo logramos de alguna otra manera nos adentraremos en el sistema solar. Por cierto, la «primera velocidad cósmica» ya la vimos anteriormente y era la velocidad necesaria para poner un objeto en la órbita de un planeta, y para la Tierra era de 8 km/s. En la práctica, para llegar a los 11,2 km/s de velocidad de escape, un cohete que lance una sonda desde una rampa cercana al ecuador solo necesitará adquirir una velocidad de 10,7 km/s. Al encontrarse nuestro planeta girando sobre su eje a 0,46 km/s (unos 1674 km/h), le podremos sumar ese impulso extra «gratis» a nuestra nave. En el espacio todo cuenta, y por eso los satélites y sondas se lanzan lo más cerca del ecuador posible y siempre hacia el este, en la misma dirección en la que gira nuestro planeta sobre su eje.

Así pues, para que un satélite o una sonda no vuelva a caer en la superficie, debe ir a una velocidad suficiente como para quedar en órbita (>8 km/s) o bien tener la velocidad necesaria como para escapar de nuestro planeta (>11,2 km/s). Una vez alcanzada esta velocidad de escape, la gravedad terrestre nunca será lo bastante fuerte como para que el objeto vuelva a caer sobre nuestro planeta y se alejará indefinidamente de nosotros. Una vez abandonada la esfera de influencia de la Tierra, el objeto se mantendrá a una velocidad casi constante y quedará marcado a partir de ese momento por la esfera de influencia gravitatoria del Sol. La sonda seguirá una trayectoria orbital que ya dependerá de nuestra estrella, por lo que a partir de ese momento nuestro modelo de referencia pasará a estar centrado en nuestro Sol. Por tanto, si ahora lo que queremos saber es qué velocidad necesitamos para escapar del sistema solar, necesitaremos medir las velocidades respecto al Sol.

Objeto	Velocidad de escape del objeto (km/s relativos al objeto)	Velocidad de escape del sistema solar (km/s relativos al

		Sol)
Sol	617,5	617,5
Mercurio	4,3	67,7
Venus	10,4	49,5
La Tierra	11,2	42,1
La Luna	2,4	42,1
Marte	5	34,1
Ceres	0,51	25,3
Júpiter	59,5	18,5
Saturno	36,09	13,6
Titán	2,63	13,6
Urano	21,38	9,6
Neptuno	23,56	7,7
Plutón	1,23	6,6

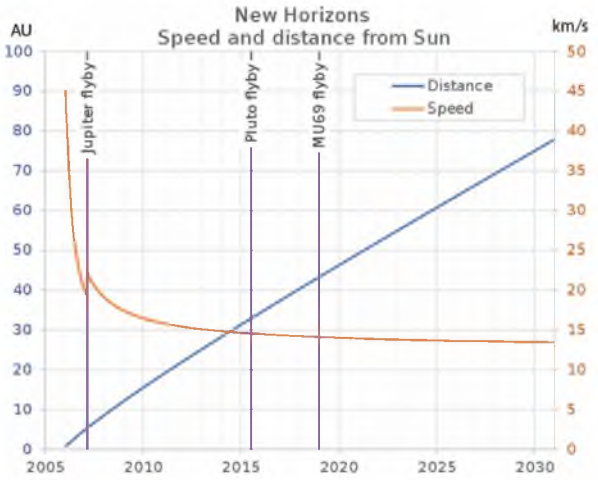
Tabla de velocidades de escape. Las velocidades de escape del objeto dependen del tamaño de dicho objeto, siendo enormes para el Sol y muy pequeñas para Plutón o los asteroides. Sin embargo, cuando pasamos a hablar de la velocidad de escape del sistema solar, la velocidad será menor conforme nos vamos alejando del Sol, ya que su gravedad se sentirá con menor fuerza. Parte de esas velocidades nos las puede «regalar» la naturaleza. Para escapar de un cuerpo podemos usar su rotación, y para escapar del sistema solar podemos usar su traslación. Tabla: elaboración propia.

Si pudiéramos lanzar una sonda desde la «superficie» de nuestra estrella, la velocidad necesaria para escapar de ella sería de unos increíbles 617 km/s. Al ser el objeto más pesado, necesitaremos una enorme energía y una gigantesca velocidad para escapar de su «superficie». Por suerte sabemos que la fuerza de la gravedad disminuye con la distancia, así que las sondas que lanzamos desde nuestro planeta no sienten en el espacio la gravedad solar con tanta fuerza. De esa manera, en el caso de un objeto lanzado

desde la Tierra, será necesaria una velocidad de «solo» 42 km/s respecto a nuestra estrella para abandonar el sistema solar. Además podemos usar otro truco, ya que como nuestro planeta (y la sonda que lanzamos) ya lleva una velocidad orbital de traslación alrededor del Sol de 29,8 km/s, en la práctica «solo» serían necesarios unos 16,6 km/s para poder escapar de nuestro sistema solar en un lanzamiento desde la Tierra. Esa es la ventaja de lanzar las sondas en la misma dirección en la que se desplaza nuestro planeta alrededor del Sol, así nos ahorramos unos 25,4 km/s, que nos va a proporcionar «gratis» la velocidad de traslación de la Tierra, al igual que también nos la daba su rotación.

¿A qué velocidades vuelan las sondas?

Por lo que hemos visto hasta ahora, una sonda necesita viajar a más de 11,2 km/s para escapar del planeta Tierra y poder llegar hasta otros mundos. De esa velocidad al menos 10,7 km/s serán proporcionados por el cohete y otros 0,46 km/s serán «gratis» debido a la rotación de la Tierra. Además, si queremos que la sonda escape del sistema solar, la velocidad necesaria será de 42,1 km/s (respecto al Sol), de los cuales al menos 16,6 km/s deben ser proporcionados por el cohete y 29,8 km/s serán «gratis», por cortesía de la traslación de la Tierra. Hasta el día de hoy, hemos lanzado al espacio unas 250 sondas por todo el sistema solar, en todas direcciones, de todos los tamaños y con todos los cohetes imaginables. Pero ¿cuál de ellas ha sido la más rápida? ¿Escapó del sistema solar? ¿Qué multa le puso la Guardia Civil Interplanetaria? Bueno, la cuestión no es tan sencilla de responder y todo depende de la órbita de la sonda y del punto de referencia que tomemos. Tengamos en cuenta que podemos medir la velocidad respecto a nuestro planeta, respecto a otro mundo o respecto al Sol. En principio podemos pensar que para que una sonda sea muy veloz, debe ser lanzada por un cohete muy potente y eso es cierto en parte. Pero la velocidad que adquiera también dependerá del peso de la sonda, ya que una sonda pequeña lanzada por un cohete mediano podría ser más veloz que una sonda enorme lanzada por un gran cohete. Además del cohete utilizado y del peso, una sonda puede adquirir más velocidad durante su viaje usando las asistencias gravitatorias en otros planetas, que le darán, como hemos visto, una mayor (o menor) velocidad y un nuevo rumbo. Y si esa sonda sobrevuela varios planetas seguidos, el aumento de velocidad puede ser considerable, como ya hemos visto con la sonda Voyager 2, que se aprovechó de los empujones gratis proporcionados por los cuatro mayores planetas del sistema solar.

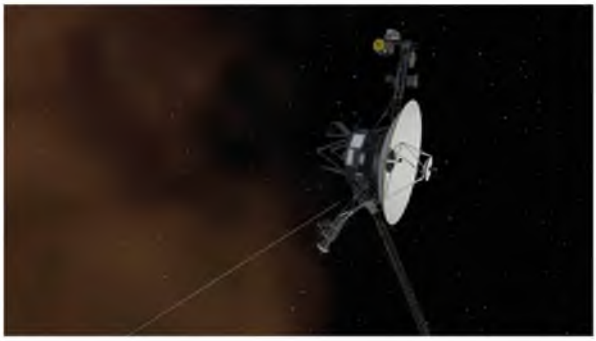


Velocidad de la sonda New Horizons respecto al tiempo. Como vemos en la curva en forma de L, al salir de la Tierra llevaba una velocidad de 45 km/s. Al llegar a Júpiter, el Sol la había frenado hasta los 19 km/s, pero la asistencia con el gigante gaseoso aumentó su velocidad hasta los 23 km/s. Conforme se aleja y pasa el tiempo va perdiendo velocidad, aunque cada vez de forma más lenta, ya que el Sol cada vez la frena con menos fuerza. Sobrevoló Plutón en 2016 a 14 km/s y en las próximas décadas su velocidad estará sobre los 13 km/s. Imagen: NASA.

Con todo esto, se puede llegar a pensar que las sondas que viajan hacia el exterior del sistema solar con la velocidad de escape serían las más veloces de todas. Esas misiones siempre las enviamos a muy altas velocidades y además ganarán más todavía en las asistencias gravitatorias. Ya sabemos que cuando se lanza una sonda al espacio, a la velocidad que le imprime el cohete se le suma la que lleva la Tierra alrededor del Sol. Pero aun así, esta enorme velocidad va disminuyendo rápidamente conforme la sonda se va alejando de la Tierra hacia órbitas exteriores, debido a la fuerte atracción solar. Pasados los planetas gaseosos, y a pesar de que el Sol ya está mucho más lejos, la sondas siguen perdiendo velocidad aunque

mucho más lentamente, ya que nuestra estrella sigue frenándolas sin descanso.

Veamos algunos casos de sondas que están en velocidad de escape del sistema solar. Por ejemplo, las primeras sondas en sobrepasar el cinturón de asteroides y sobrevolar tanto Júpiter como Saturno fueron las Pioneer 10 y Pioneer 11, lanzadas en 1972 y 1973. Estas dos sondas fueron de las más veloces en su momento, ya que tras superar ambas los planetas gigantes, se dirigieron rumbo al exterior del sistema solar con unas velocidades de **11,9 km/s** y **11,2 km/s**. Las míticas sondas Voyager 1 y Voyager 2, de 1977, son dos sondas de tamaño medio que fueron lanzadas con cohetes pesados y que llegaron a sobrevolar los planetas gigantes gaseosos, por lo que son sondas muy veloces. Tanto, que han sido los primeros objetos fabricados por el ser humano en escapar de nuestro sistema solar y entrar en el espacio interestelar. Actualmente la Voyager 1 lleva una velocidad de **17 km/s** y la Voyager 2 de **15,4 km/s**, una velocidad suficiente como para atravesar toda la península ibérica de norte a sur en 50 segundos. Si lo recuerdas, la Voyager 2 sobrevoló más planetas y sin embargo es más lenta que la Voyager 1. La causa la tenemos en el hecho de que la Voyager 2 fue lanzada en una trayectoria más larga y lenta, que le permitiría obtener una órbita para llegar a esos planetas más lejanos y que la órbita más rápida de Voyager 1 no le permitió hacerlo. Además la Voyager 2 sobrevoló Júpiter a 570 000 km de altura, por lo que al no acercarse tanto como la Voyager 1 «aprovechó» peor el tirón de velocidad. Esto, unido al sobrevuelo «por delante» de Neptuno, causó una pérdida de velocidad apreciable. Y es que las reglas de las carambolas espaciales son complejas.



Las sondas Voyager han sido las primeras en dejar el sistema solar y se encuentran entre algunas de las sondas más veloces jamás lanzadas. Imagen: JPL/NASA.

Otra sonda que nos podemos imaginar muy veloz es la New Horizons, que exploró el sistema de Plutón en 2015 en un sobrevuelo histórico y que nos permitió observar por primera vez ese planeta enano. La pequeña sonda de 478 kg fue lanzada el 19 de enero de 2006 por un cohete Atlas V, lo que supuso batir el récord del «objeto más veloz jamás lanzado desde la superficie terrestre», con una velocidad inicial de **16,26 km/s** respecto a nuestro planeta. A esa velocidad, se le tuvo que sumar después los casi 30 km/s que llevaba la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del Sol, adquiriendo una velocidad total de 45 km/s, que fueron disminuyendo conforme se dirigía al exterior del sistema solar. Esta velocidad le permitió convertirse en la primera sonda de la historia en conseguir la «velocidad de escape» del sistema solar desde su lanzamiento. Cuando llegó a Júpiter, su velocidad ya había bajado a los 19 km/s, pero con el impulso conseguido en el planeta gigante la subió de nuevo a unos 23 km/s. En el momento de sobrevolar Plutón viajaba a 14 km/s, y actualmente mantiene unos nada despreciables **13,9 km/s**. Como curiosidad, la tercera etapa del cohete Atlas V, que lanzó la sonda New Horizons y que se llama Star 48B, también lleva una velocidad y trayectoria similar de escape del sistema solar. Esta etapa será el sexto

objeto que abandone nuestro sistema planetario alrededor de 2046.

La pequeña, desconocida y extraña Helios B ha sido la sonda más veloz de la historia durante 43 años. Imagen: NASA.

Este tipo de misiones «escapistas» son muy rápidas, pero en realidad las sondas más veloces son aquellas que usan los sobrevuelos del objeto más grande y masivo de todo el sistema solar: el Sol. Su gravedad es tan enorme que las sondas que tienen el valor de acercarse lo suficiente adquieren velocidades extremas, por lo que cada vez que una nueva misión se acerca más al Sol, se superan nuevos récords. Un ejemplo de sonda muy veloz fue la nave europea

Rosetta, que estudió en profundidad el cometa 67P. Para alcanzar su objetivo, esta misión tuvo que acelerar y para ello realizó tres sobrevuelos a la Tierra (el último a 13,3 km/s) y otro a Marte antes de dirigirse hacia el cometa con la velocidad necesaria. De esta manera pudo alcanzar al 67P, adquirir su misma órbita y acompañarlo en su viaje alrededor del Sol. Cuando en agosto de 2015 el cometa pasó por el perihelio, la sonda Rosetta viajaba con él y ambos habían adquirido una velocidad de unos **30 km/s**. Como vemos, la sonda Rosetta llevaba en esos momentos una velocidad el doble de rápida que las sondas que hemos visto anteriormente en el sistema solar exterior.

Sin embargo Rosetta no fue en ese momento la nave más rápida de la historia, puesto que ese récord lo ha tenido durante muchos años la sonda solar alemana Helios B. Esta pequeña y poco conocida sonda fue lanzada al espacio en enero de 1976, con el objetivo de estudiar nuestra estrella y su entorno, estando en funcionamiento hasta diciembre de 1979. El 17 de abril de 1976, la sonda batió el récord al acercarse a tan solo 43 millones de kilómetros (0,29 UA) del Sol y adquiriendo una impresionante velocidad de **70,2 km/s** (252 792 km/h). Esto le permitió triturar todos los registros existentes y se convirtió en la reina de la velocidad durante las siguientes décadas. Su compañera Helios A se quedó en los **66,1 km/s** en su máximo acercamiento del 15 de marzo de 1975. Y todo gracias a la enorme gravedad del Sol, ya que una sonda que tenga una órbita que le aproxime mucho a nuestra estrella, irá aumentando su velocidad conforme se acerque al perihelio. Además el Sol la atraerá con más fuerza cada vez, por lo que las velocidades en las cercanías solares serán gigantescas. Otra sonda que saltó a los medios por su velocidad fue Juno, que en 2016 llegó a Júpiter para estudiar su interior desde una órbita polar muy elíptica. La NASA destacó que esta sonda, al acercarse a Júpiter, iba a pulverizar el récord de velocidad de Helios B, al llegar

hasta unos sorprendentes 73,7 **km**/s (265 500 km/h). El problema es que el anuncio tenía truco, puesto que esa velocidad no era respecto al Sol, ni siquiera a Júpiter, sino respecto a nuestro planeta. Sin embargo, esta medida es poco útil, pues la Tierra no está inmóvil, sino que gira alrededor del Sol y por tanto hay momentos en los cuales se aleja de Júpiter y eso aumenta ficticiamente la velocidad de la nave. Así que aceptamos el récord a regañadientes. O no.

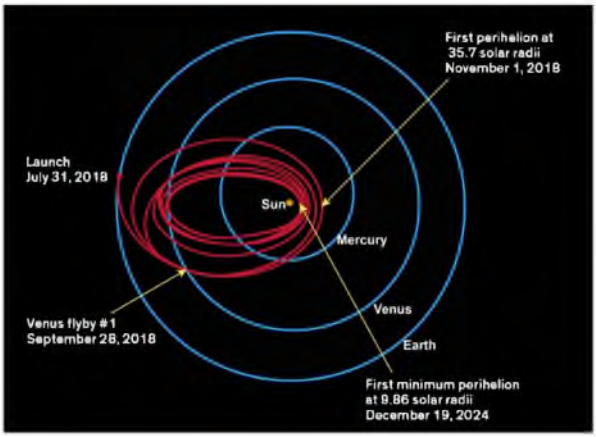
¿Cuál es la sonda más veloz de la historia?

Durante muchos años la sonda Helios B ha sido la nave más veloz jamás construida. Pero como todos los récords caen tarde o temprano, desde 2019 ya tenemos en el barrio una nueva reina que ha venido para quedarse mucho tiempo. Hablamos de la sonda solar Parker de la NASA, que fue lanzada el 12 de agosto de 2018 para estudiar nuestra estrella más cerca que ninguna otra sonda en la historia, lo cual ya nos hacía pensar que el récord de Helios B iba a caer. Esta sonda tiene una órbita muy elíptica alrededor del Sol, diseñada para acercarse mucho a nuestra estrella y volver a alejarse hasta llegar a la órbita de Venus. Este planeta será sobrevolado por Parker una o dos veces al año, lo que le permitirá modificar su órbita para que se acerque cada vez más al Sol. Tras el primer acercamiento a Venus en octubre de 2018, la sonda sobrevoló el Sol en noviembre de 2018 y posteriormente en abril de 2019. En el tercer sobrevuelo solar de septiembre de 2019, la sonda se acercó a una mínima distancia récord de 24,8 millones de kilómetros, adquiriendo una velocidad de **95 km/s** y batiendo todos los récords.

La sonda Parker de la NASA va a revolucionar el conocimiento que tenemos del Sol. Y de paso dejará unos récords que estarán muchos años en lo más alto del pódium. Imagen: NASA.

El cuarto y quinto sobrevuelo tuvieron lugar en enero y junio de 2020 a tan solo 19,4 millones de kilómetros y lograron que el anterior récord fuera pulverizado al dejar ahora el marcador de velocidad

en **109 km/s**.



Órbitas de la misión Parker de la NASA. La sonda usará la gravedad de Venus para frenar y recorrer órbitas cada vez más pequeñas y cercanas al Sol. Imagen: NASA.

En el sexto y séptimo perihelio de septiembre de 2020 y enero de 2021, se situó la nave a solo 14,2 millones de kilómetros del Sol y la velocidad se disparó hasta los **129 km/s**, reventando el cuentakilómetros planetario. Pero la cosa no acaba aquí, ya que el octavo y noveno perihelio tuvieron lugar en abril y agosto de 2021, a nada más que 11,1 millones de kilómetros del Sol, llevando la velocidad hasta los **147 km/s**, más del doble que la alcanzada por Helios B. Y tras un sobrevuelo de Venus el 16 de octubre de 2021, el perihelio quedó en 9,2 millones de kilómetros y llegó a una velocidad de **163 km/s**, que será alcanzada entre los perihelios del 10.º al 16.º entre noviembre de 2021 y junio de 2023. Otro paso más por Venus provocará que los perihelios del 17.º al 21.º ocurran entre septiembre de 2023 y septiembre de 2024, a una distancia de 7,9 millones de kilómetros del Sol y estableciendo el nuevo récord en **176 km/s**. Y para rematar la misión (de momento), el séptimo sobrevuelo de Venus ocurrirá el 6 de noviembre de 2024 y dejará los perihelios del 22.º al 26.º, entre

diciembre de 2024 y diciembre de 2025, a una distancia mínima de 6,9 millones de kilómetros y una velocidad récord total y absoluta de **192 km/s**. Si la sonda supera todas estas fases de la misión en buen estado, no es descartable que la NASA siga bajando el perihelio y estudiando el Sol desde más cerca, por lo que batirá nuevos récords. La ingeniería espacial y la física son maravillosas y nos permiten conocer dónde estará una sonda dentro de muchos años, así como el día, la hora y la velocidad con la que sobrevolará el Sol, un satélite o un planeta. Eso es predecir el futuro y no las tomaduras de pelo de las pseudociencias.

Sonda	Fecha	Evento	Vel. (km/h)	Vel. (km/h)	Respecto a
Parker	24 de diciembre de 2024	Perihelio	192	691 200	Sol
Parker	27 de septiembre de 2023	Perihelio	176	633 600	Sol
Parker	21 de noviembre de 2021	Perihelio	163	586 800	Sol
Parker	29 de abril de 2021	Perihelio	147	532 000	Sol
Parker	27 de septiembre de 2020	Perihelio	129	393 000	Sol
Parker	29 de enero de 2020	Perihelio	109	392 400	Sol
Parker	6 de noviembre de 2018	Perihelio	95	342 000	Sol
Juno	4 de julio de 2016	Inserción orbital	73,7	265 320	Tierra
Helios B	17 de	Perihelio	70,2	252	Sol

	abril de 1976			720	
Helios A	15 de marzo de 1975	Perihelio	66,1	237 960	Sol
Juno	27 de agosto de 2016	Periapsis	57,8	208 080	Júpiter
Galileo	21 de septiembre de 2003	Entrada atmosférica	48,2	173 520	Júpiter
Cápsula de Galileo	7 de diciembre de 1995	Entrada atmosférica	48	172 800	Júpiter
Cassini	27 de abril de 2017	En últimas periapsis y entrada atmosférica	34	122 400	Saturno
Rosetta	13 de agosto de 2015	Perihelio	30	108 000	Sol
Voyager 1	Actual	Escape	17	61 200	Sol
New Horizons	19 de enero de 2006	Lanzamiento	16,3	58 680	Tierra
Voyager 2	Actual	Escape	15,4	55 440	Sol
New Horizons	Actual	Escape	13,9	50 040	Sol
Stardust	15 de enero de 2006	Entrada atmosférica	12,9	46 440	Tierra
Pioneer 10	Actual	Escape	11,9	42 840	Sol
Pioneer 11	Actual	Escape	11,2	40 320	Sol

Cápsulas Apolo	1969-1972	Entrada atmosférica	11	39 600	Tierra

Tabla con las mayores velocidades obtenidas en el sistema solar. Entre los datos hay un poco de todo, mezclando puntos de referencia y con distintos tipos de récords, pero al menos sirve para tener una idea de las velocidades en las que nos movemos. Tabla: elaboración propia.

¿Y por qué una sonda tan veloz no escapa del sistema solar? Pues la razón es sencilla: su velocidad es tan alta debido a que cae hacia el Sol y es atraída con mucha fuerza, por tanto su velocidad se dispara. Pero una vez superado el perihelio, la sonda se aleja del Sol y es frenada con la misma intensidad y fuerza que al acercarse, por lo que pierde la velocidad rápidamente. Digamos que solo le da tiempo a escapar hasta llegar a la órbita de Venus, donde vuelve a caer hacia nuestra estrella al haber perdido toda la velocidad acumulada.

Otros récords destacables son las reentradas más rápidas en la atmósfera de la Tierra, que fueron realizadas por misiones tripuladas que volvían de la Luna o por sondas que tras realizar su misión nos traen muestras de cometas o asteroides. Para el vuelo tripulado, el récord lo tiene la cápsula Charlie Brown, de la misión Apolo 10, que el 26 de mayo de 1969 entró en nuestra atmósfera tras volver de su misión alrededor de la Luna a **11,08 km/s** (39 897 km/h). El resto de misiones Apolo estuvieron un poco por debajo de esa cantidad, al tener órbitas similares. Para misiones no tripuladas, la reentrada atmosférica más rápida fue la realizada por la cápsula de retorno de muestras de la misión Stardust, que el 15 de enero de 2006 chocó contra nuestra atmósfera a **12,9 km/s** (46 080 km/h). Y en cuanto a entradas atmosféricas en Marte, la más veloz fue la cápsula que contenía la misión Mars Pathfinder y que el 4 de julio de 1997 entró en la atmósfera marciana, para sus 7 minutos de terror, a **7,6 km/s** (27 360 km/h).

Otras grandes velocidades en el espacio también se obtienen cuando las sondas entran en órbita de los planetas gaseosos gigantes o realizan muchas órbitas alrededor suyo para terminar cayendo. En Júpiter, la velocidad máxima la obtuvo el 4 de julio de 2016 la sonda Juno, en el momento de tener que realizar el encendido de su motor para la maniobra de inserción orbital y frenar los tremendos **58 km/s** (208 800 km/h) que llevaba. La mítica sonda Galileo superó su propio récord de velocidad en un momento triste de la misión, ya que lo obtuvo justo cuando entraba en la atmósfera de Júpiter para desintegrarse, a una velocidad de **48,26 km/s** (173 736 km/h) el 21 de septiembre de 2003. En Saturno, la velocidad máxima alcanzada la consiguió la sonda Cassini el 27 de abril de 2017, cuando en sus últimos periapsis llegaba hasta los **34 km/s** (122 400 km/h). Tras sobrevolar Titán por última vez el 22 de abril, la sonda cambió su órbita para pasar por el hueco que hay entre el planeta y el anillo más interior, llegando a sobrevolar las nubes de Saturno a tan solo 3100 km de altura y a unos 320 km del anillo, realizando sus últimos sobrevuelos antes de estrellarse a la máxima velocidad de toda la misión.

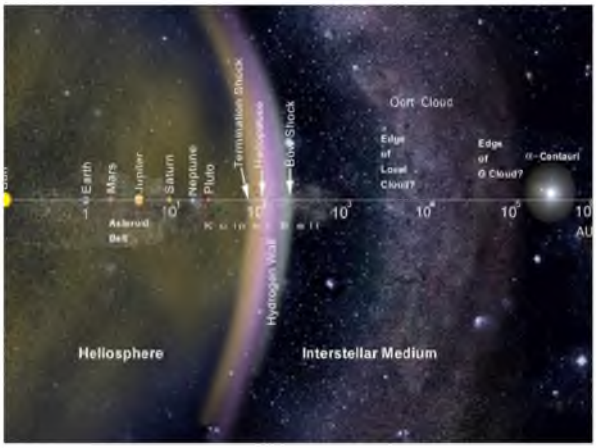
Hasta luego y gracias por el pescado. Sondas que han escapado del sistema solar

Antes de poder hablar de las sondas que han escapado del sistema solar, hay que tener muy claro dónde se acaba y si hay un límite definido. El problema es que nuestro sistema solar es un lugar complejo. Conforme nos desplazamos hacia el exterior y sobrepasamos los planetas, nos encontramos en una región extraordinariamente vacía, gigantesca y sorprendentemente compleja, aunque parezca todo lo contrario. Las estrellas son grandes centrales nucleares de fusión, que utilizan como combustible átomos de hidrógeno para producir átomos de helio y liberando ingentes cantidades de energía en el proceso. Nuestro Sol consume cada segundo unas 564 millones de toneladas de hidrógeno, y como resultado se crean 560 millones de toneladas de helio. Las 4 millones de toneladas por segundo que faltan son irradiadas al exterior en forma de energía, luz y partículas. Entre la materia expulsada por el Sol se encuentra el llamado viento solar, un flujo continuo de partículas ionizadas (iones pesados y núcleos de C, N, O, Fe, Si y S, entre otros) que escapan de la corona solar. Junto con el viento solar, también tenemos plasma (electrones, protones y partículas alfa) y campos magnéticos en forma de espiral, debido a la rotación del Sol que se realiza cada 25 días. Cualquier variación en el comportamiento del Sol implica un cambio del viento solar, y eso afectará a todo el sistema solar y sus planetas, produciendo tormentas magnéticas y auroras. Su velocidad y densidad es variable, pero a poca distancia del Sol puede llegar a velocidades de hasta 750 km/s.

Nos podemos imaginar la heliosfera como el fregadero de nuestra cocina. En el centro tenemos el Sol, que irradia el viento solar. El cambio comienza en el frente de choque y se extiende por la heliofunda. Nuestro sistema solar termina en la heliopausa y pasamos a estar en el espacio interestelar. Imagen: el fregadero del autor.

Conocemos como «heliosfera» a toda la región del espacio que está bajo la influencia del Sol, el viento solar y su campo magnético. Es una gigantesca burbuja donde el rey absoluto es el Sol y su viento lo recorre todo a grandes velocidades hacia el exterior. Pero como todos los reinados terminan, llegaremos a una zona del espacio muy lejana, donde este viento solar reduce su velocidad. Esta reducción es debida al choque del viento solar contra las partículas y campos magnéticos que ya existen en el medio interestelar. Esta zona de choques es conocida como «frente de choque de terminación» (o *terminal shock*) y se encuentra a partir de las 75 y 90 UA del Sol, ya que es una región variable que depende del comportamiento y el estado de nuestra estrella. ¿Y qué anchura tiene esa región? Esta zona se extiende aproximadamente por unas 40 UA más, llegando por tanto a una distancia entre las 115 y las 130 UA de media, en función del estado de nuestro Sol y de la densidad del medio interestelar, y se conoce como «heliofunda» (o *heliosheath*). Por los datos enviados por las sondas Voyager, sabemos que esta es una región muy

variable e inestable, formada por burbujas magnéticas de un tamaño aproximado de 1 UA. En esas regiones los campos magnéticos y los vientos son variables, debido a las «turbulencias» formadas por el choque de las partículas, ya cerca del borde exterior. En 2004 la Voyager 1 se adentró en esta región tras superar el frente de choque, y la Voyager 2 hizo lo mismo en 2007. Este borde exterior, que es el lugar donde el viento solar ya no tiene influencia y se dispersa en el medio interestelar junto con el de otras estrellas, se conoce como la «heliopausa» (o *heliopause*) y marca el fin del reino del Sol. A partir de ese momento se puede decir que hemos entrado en el espacio interestelar.



Escala logarítmica del sistema solar. Cada unidad es 10 veces más grande que la anterior. La heliosfera representa los dominios del Sol, y más allá entramos en el espacio interestelar. Imagen: NASA.

La sonda Voyager 1 fue el primer objeto en superar esta región el 25 de agosto de 2012, cuando se encontraba a una distancia de 121 UA (18 000 millones de kilómetros) de nuestro Sol. La Voyager 2 cruzó esa región en otra parte del sistema solar el 5 de noviembre de 2018, a 122 UA de nuestro Sol. La humanidad tiene ya dos naves que han abandonado nuestro sistema solar y se encuentran viajando por el

medio interestelar. Debido al desplazamiento de nuestro Sol alrededor de la galaxia, en la dirección de avance se produce el llamado «arco de choque» (o *bow shock*). Esta es una región que se forma cuando el viento solar del medio interestelar impacta contra nuestra heliosfera, creando una zona donde parte de esos vientos penetran en el sistema solar y otros salen rebotados hacia afuera. Esto acaba formando una especie de onda de choque, similar a la que producen los aviones supersónicos o a la pequeña ola que se forma delante de un barco que avanza por el mar.

Objeto / Sonda	Distancia en UA
Neptuno	30,10
Plutón	39,3
Cinturón de Kuiper	30-50
New Horizons	51,85
Frente de choque de terminación	75-90
Heliofunda	75-130
Pioneer 11	108,15
Heliopausa	115-130
Voyager 2	128,79
Pioneer 10	129,93
Voyager 1	154,81
Nube de Oort	2000-20 000
Esfera de Hill	230 000
Próxima Centauri	268 000

Tabla de distancias en el exterior y el borde del sistema solar. La zona sombreada indica las distintas regiones del borde del sistema solar y las sondas que se encuentran en ella. La Voyager 1 y Voyager 2 ya están fuera del sistema solar y posiblemente también la Pioneer 10, aunque no tenemos comunicación con ella desde abril de 2003. New Horizons no llegará a salir del sistema solar hasta el 2045. Tabla: elaboración propia (datos para finales de 2021).

Sonda	Distancia al Sol	Vel. respecto al Sol	UA/año	Distancia luz
Voyager 1 + etapa Star 37E	154,81 UA 23 159 mills. km	16,95 km/s 61 020 km/h	3,57	21,12 h
Pioneer 10 + etapa Star 37E	129,93 UA 19 437 mills. km	11,92 km/s 42 912 km/h	2,51	17,99 h
Voyager 2 + etapa Star 37E	128,79 UA 19 266 mills. km	15,31 km/s 55 116 km/h	3,23	17,56 h
Pioneer 11	108,15 UA 16 179 mills. km	11,20 km/s 40 320 km/h	2,36	14,84 h
New Horizons + etapa Star 48B	51,85 UA 7756 mills. km	13,86 km/s 49 896 km/h	2,92	6,88 h

Tabla de objetos que han abandonado o abandonarán el sistema solar. Podemos ver la distancia al Sol, su velocidad, las UA que recorren en un año y el tiempo que tardan las comunicaciones hasta estas naves (a finales de 2021). Cuatro de estas misiones también tienen la última etapa del cohete en velocidad de escape. Tabla: elaboración propia.

Con los datos que conocemos de velocidades, cada día la sonda Voyager 1 recorre un total de 1,47 millones de kilómetros, lo que equivale a casi 4 veces la distancia a la Luna o 5 segundos luz. En un año, la distancia recorrida alcanza los 532 millones de kilómetros o 3,57 unidades astronómicas. Esto provoca que las señales de radio que utilizamos para enviarle comandos y para recibir sus datos tarden

cada año 30 minutos más en cada sentido. De hecho, es tan veloz que podría ir de Córdoba hasta Madrid en poco más de 17 segundos, hasta Barcelona en 29,7 segundos, a Moscú en 3 minutos y 42 segundos y hasta Tokio en 10 minutos y 33 segundos. Un viaje a la Luna lo realizaría en 6 horas y 15 minutos. Dada la velocidad que llevan las sondas, la Pioneer 10 seguramente ya ha salido también del sistema solar y la Pioneer 11 haría lo mismo en 2030, aunque nunca lo sabremos ya que se perdió el contacto con ellas hace ya muchos años. Por su parte, la sonda New Horizons recorre cada año unos 438 millones de kilómetros o 3 UA. En 2021 superó la marca de las 50 UA recorridas y se espera que en el 2045 salga también del sistema solar.

¿Y dónde acabarán esas sondas que escapan del sistema solar? Dado que la distancia que existe entre las estrellas es tan enorme, lo más probable es que jamás pasen cerca de ninguna de ellas y pasen miles de millones de años vagando por la oscuridad y el vacío más total alrededor de nuestra galaxia. Todas las sondas pasarán en los próximos millones de años por las «cercanías» de varias estrellas, pero entendiendo que esa distancia «cercana» superará el año luz. La sonda Voyager 1 realizará el sobrevuelo más cercano a la estrella TYC 3135-52-1 dentro de 300 000 años, cuando la sobrepasará a 0,96 años luz de distancia y a una velocidad de 46,5 km/s. La Voyager 2 tendrá su mejor encuentro dentro de 42 000 años, cuando sobrepase la estrella Ross 248 a 1,72 años luz y una velocidad de 72,3 km/s. El mejor sobrevuelo para la Pioneer 10 será con la estrella HIP 117795, a una velocidad relativa de 290 km/s, y ocurrirá dentro de 90 000 años, aunque dentro de 2 millones de años pasará también cerca de Aldebarán, en Tauro (no te olvides de poner una alarma en tu móvil). Por su parte, la Pioneer 11 sobrevolará la estrella TYC 992-192-1 dentro de 928 000 años a una distancia 0,79 años luz a 33,6 km/s. Sondas eternas que vagarán eternamente por el vacío, sin que nada las altere en miles de millones de

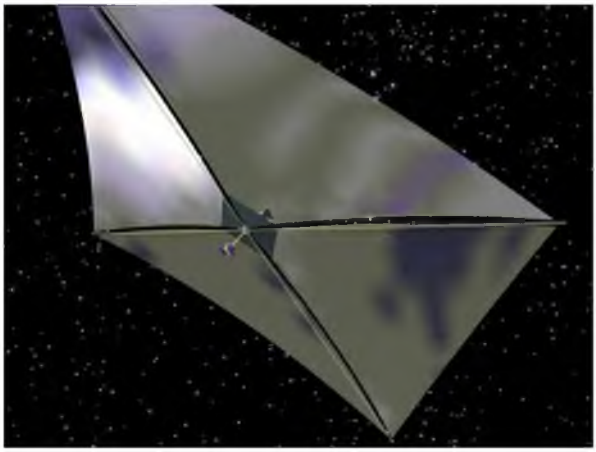
años.

Como vemos, los viajes interestelares partiendo del nivel que tiene nuestra tecnología no son nada prácticos, ya que las distancias entre las estrellas dejan a las del sistema solar en una broma. Por muy veloz que enviemos una sonda para escapar del sistema solar, los viajes para alcanzar sus límites se miden por décadas, y para llegar a las estrellas por decenas de miles de años. Por tanto, se hace necesario probar otros sistemas de propulsión que permitan reducir la duración de los viajes, aunque de momento nuestra tecnología está muy lejos de reducir el tiempo de vuelo. Durante los últimos 40 años se han estudiado numerosos conceptos, basados en sistemas de propulsión novedosos o incluso rozando la ciencia ficción. Uno de los más realistas fue la misión Interstellar Probe, propuesta en 1999 por la NASA, que desarrolló un concepto de nave interestelar que viajaría propulsada por una vela solar hexagonal de 400 metros de diámetro y que recorrería unas 15 UA por año. Tras realizar un sobrevuelo del Sol a 0,25 UA para aumentar el impulso por la radiación solar, se dirigiría al exterior de nuestro sistema solar. Cerca de la órbita de Júpiter y a unas 5 UA, la vela sería expulsada debido a que a esas distancias el Sol apenas le provoca ya ningún empuje. La idea de esta misión es llegar a las 200 UA en unos 15 años, viajando a 70 km/s, y mantenerse en funcionamiento al menos hasta las 300-400 UA. Esto permitiría estudiar el cinturón de Kuiper, el borde de la heliosfera y el medio interestelar cercano, donde investigaría la influencia del medio interestelar en el sistema solar. Como la heliosfera no es perfectamente esférica, sino que se extiende menos en la dirección hacia la que avanza el Sol, la idea sería enviarla hacía allí, ya que el camino es mucho más corto. Se estima que el frente de choque está a unas 90 UA y la heliopausa la podríamos encontrar a tan solo unas 120 UA. Todos los datos se enviarían por medio de una gran antena de 2,7 metros de diámetro a un ritmo de 350 bps cuando lleguemos a

las 200 UA. El peso total de la sonda sería de unos 246 kg, de los cuales 100 kg pertenecen a la vela solar que se desprendería al pasar Júpiter. Por supuesto, para funcionar necesitaría un generador nuclear que le proporcionaría 275 W.

A pesar de obtener una velocidad mayor usando velas solares, estas misiones todavía siguen siendo demasiado lentas, puesto que seguimos hablando de viajes de muchas decenas de miles de años para llegar a otras estrellas cercanas. En abril de 2016, un proyecto llamado Breakthrough Starshot comenzó a estudiar otros conceptos, con el objetivo de desarrollar una nave que pudiera viajar por el espacio a 60 000 km/s, lo que representa ya el 20 % de la velocidad de la luz y por tanto un enorme avance. En comparación, las sondas actuales que escapan del sistema solar viajan a un 0,005 % de la velocidad de la luz. La idea es conseguir que su nave pueda llegar al sistema de Alfa Centauri en un plazo de 20 años, a pesar de estar a 4,3 años luz de nosotros. También en comparación, nuestras sondas actuales tardarían unos 40 000 años en realizar el mismo viaje. La idea central del proyecto es sencilla: usar una vela solar para realizar el viaje, pero para evitar que al llegar a Júpiter deje de tener utilidad, las velas serían propulsadas por potentes rayos láser de varios gigavatios que las acelerarán hasta llegar al 20 % de la velocidad de la luz. El proyecto enviaría a órbita terrestre al menos a 1000 pequeñas sondas de pocos gramos de peso que llevarían cámaras, propulsores de fotones, energía y equipos de comunicación y navegación. Desde la Tierra se enfocaría un potente láser sobre cada nave, que obtendrían en pocos minutos una altísima velocidad. En principio las sondas no frenarían al llegar al destino, ya que no hay un láser en el otro lado que las frene. Sin embargo, algunas investigaciones indican que el viento solar y la radiación de Alfa Centauri les ayudaría a disminuir parte de su velocidad. Hoy en día casi todo el proyecto es ciencia ficción, pero las tecnologías necesarias ya existen y

sería cuestión de desarrollarlas para poder hacerlas realidad.

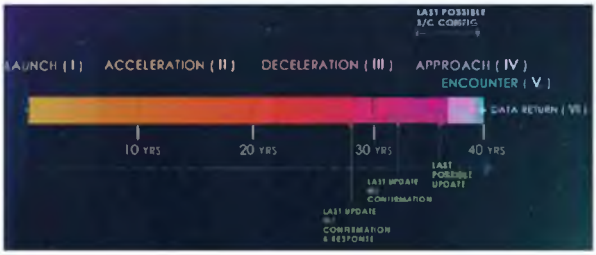


Todas las velas solares tienen el mismo fundamento: una pequeña sonda central donde está toda la electrónica y desde la que se despliega una enorme vela de decenas, cientos o miles de metros cuadrados, con un grosor de 2 micras, 15 veces más delgado que una hoja de aluminio para alimentación. Imagen: NASA.

Otros proyectos destacados para misiones interestelares en las últimas décadas incluyen al proyecto Daedalus, que usaría motores de fusión para impulsar una gigantesca nave; el proyecto Icarus, que es una actualización del anterior; y el proyecto Longshot, que propone el uso de detonaciones nucleares para acelerar la nave. Todos estos proyectos requerirían unos viajes de unos 50 a 100 años, alcanzando entre el 5 y el 12 % de la velocidad de la luz para llegar a Alfa Centauri.

El problema es que son tecnologías inalcanzables en la actualidad y tal vez nos queden más de 100 años para conseguirlas, pero al menos ya se está pensando en ellas y analizando cómo sería el vuelo. Imaginemos ahora un proyecto para llegar a Alfa Centauri, a 4,26 años luz de distancia (270 000 UA), en un viaje de 40 años utilizando velas autopropulsadas, motores

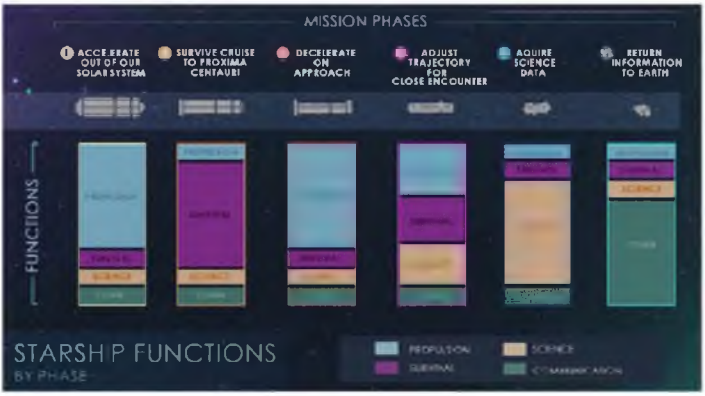
iónicos o nucleares. Un viaje de este tipo pasaría obligatoriamente por distintas fases, en función de la distancia que haya recorrido la nave. Tras el lanzamiento, los primeros años serían empleados en acelerar y adquirir la máxima velocidad posible (fase I). Después estaría en una etapa de crucero de más de dos décadas (fase II), donde lo importante es sobrevivir al viaje. Una vez que la sonda lleve unos 25 años de viaje, deberá comenzar a frenar (fase III) si queremos obtener buena ciencia durante el sobrevuelo y no pasar rápidamente de largo. En el momento que comience la fase de frenado la sonda informará a nuestro planeta, pero las señales tardarán más de dos años en llegar a nosotros. Si la sonda requiere confirmación de la Tierra, lo más tarde que podría enviarnos una señal sería a los 28 años de vuelo, pues la señal tardaría unos 7 años en llegar a nosotros y volver.



Fases de una misión interestelar de 40 años. Imagen: NASA.

Por tanto, la última actualización posible para la sonda le llegaría a los 35 años de vuelo. Si la sonda nos envía una señal a los 32 años de vuelo, nosotros recibiremos la señal 4 años después, pero ya no habría tiempo de enviarle comandos, ya que para cuando lleguen la sonda habrá finalizado su misión. Del año 37 al 39 la nave estaría en su fase de aproximación (fase IV), donde podría empezar a obtener datos científicos. El último año de vuelo se considera la fase de encuentro (fase V), donde la sonda estará completamente centrada en obtener todos los

datos posibles y almacenarlos. Una vez finalizado el sobrevuelo, la sonda tardaría al menos otros 10 años en enviar todo lo almacenado (fase VI), que nos llegaría a nosotros con más de 5 años de retraso. ¿Cómo se hace todo esto? Ni idea, aún no hay tecnología lo bastante avanzada como para llevarlo a cabo. Pero en ciencia los sueños son el primer paso para convertir algo en realidad, aunque sea dentro de 10, 100 o 500 años. ¿Empezamos ya a soñar?



Cada fase está centrada en una o varias áreas: propulsión, supervivencia, ciencia y comunicaciones. La fase I se centraría en propulsión, la fase 2 en supervivencia, la fase 3 en propulsión para frenar, la fase 4 en una mezcla de propulsión, supervivencia y ciencia, la fase 5 sería puramente científica y la fase 6 de comunicar los resultados a la Tierra. Imagen: NASA.

Epílogo

Bueno, si has llegado hasta aquí quiero darte mi enhorabuena y las gracias. Solo espero que la pasión que siento por el espacio se te haya contagiado un poco y entiendas mejor la importancia de la astronáutica. El espacio y su conquista es un reflejo que tenemos los humanos en el cielo. Y ya que aquí abajo hemos hecho mal tantas cosas, el espacio es una esperanza para pensar que en el futuro lo haremos un poco mejor como especie. La ciencia y la tecnología que hay detrás de cada paso que se da en el cosmos es compleja, pero comprenderla y ser parte de esa odisea es mucho más sencillo de lo que parece y todos podemos formar parte de ese progreso, que cada año es más apasionante. Si al leer este libro has aprendido tanto como yo al escribirlo, ya lo considero una enorme recompensa. Y si a partir de ahora, cuando salga una noticia espacial en la televisión o en Internet, te llama más la atención y sigues la actualidad espacial, lo siento... ¡ya eres un/a espacio-trastornado/a para toda la vida! Nunca dejes de curiosear y preguntar, porque siempre habrá alguien que te lo pueda explicar con sencillez. El conocimiento no es privilegio para unos pocos, sino que tiene que ser algo compartido y accesible a todo el mundo.

A partir de hoy, si quieres seguir estando al día de todo lo que pasa sobre nuestras cabezas, te recomiendo que te unas al canal de Telegram donde publicamos noticias de actualidad espacial (https://telegram.me/SondasEspaciales), que participes en la web y el foro de Sondas Espaciales (www.sondasespaciales.com) y que le eches un ojo a todo lo que publicamos en InfoSondas (www.infosondas.com). Y es imprescindible que sigas a Daniel Marín (@eurekablog), el mejor divulgador espacial en español, y leas sus fantásticos artículos en el blog Eureka (danielmarin.naukas.com). También que devores todo lo que nos cuenta Ana Julia Banda en su extraordinaria cuenta de Twitter (@anajuliabanlei) y que te suscribas a la revista

Astronomía (@astronomia_mag), dirigida por el maestro Ángel Gómez (@agomezroldan).

Y tanto si te ha gustado el libro como si no... ¡házmelo saber! Estoy disponible en mis cuentas @sondas y @pedro_leon en Twitter, donde estaré pendiente de tus comentarios, críticas o preguntas. Es un orgullo para mí que hayas leído todas las historias que he escrito en mi primer libro con la mayor ilusión. Si con ello he conseguido que tu curiosidad por el espacio haya aumentado, estoy más que satisfecho y recompensado. Soy todo oídos.

Córdoba, junio de 2021

Para saber más

Baker, David. *NASA Space Shuttle 1981 Onwards (All Models): An Insight into the Design, Construction and Operation of the NASA Space Shuttle*. Haynes, 2011.

Baker, Philip. *The Story of Manned Space Stations: An Introduction*. Praxis, 2007.

Belbruno, Edward and DeGrasse Tyson, Neil. *Fly Me to the Moon: An Insider's Guide to the New Science of Space Travel*. Princeton University Press, 2013.

Daynes, Katie and Christine Pym. *What's It like in Space?* Usborne, 2017.

Doody, David and George Stephan. *Basics of Space Flight Learners' Workbook: Advanced Mission Operations Section, Multi-team Training Module*. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 1995.

Hohmann, Walter. *The Attainability of Heavenly Bodies*. National Aeronautics and Space Administration, 1960.

Klicka, M. V. and Smith Jr., M. C. «Food for U.S. Manned Space Flight», United States Army Natick Research & Development Laboratories, April 1982.

MacDougal, Douglas W. *Newton's Gravity: An Introductory Guide to the Mechanics of the Universe*. Springer, 2012.

Matloff, Gregory L. *Deep Space Probes to the Outer Solar System and Beyond*. Springer Verlag, 2010.

NASA. *Apollo 15: Preliminary Science Report*. Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration, 1972.

«Orbital Debris Hazards Assessment and Mitigation Strategies». *Space Debris*, 2001, 13-36. doi: 10.1201/9781482288193-7.

Peake, Tim. *Ask an Astronaut*. Arrow Books, 2018.

Powell, Joel W. and Brandon-Cremer, Lee Robert. *Space Shuttle Almanac: A Comprehensive Overview of 40 Years of Space Shuttle Development & Operations*. Microgravity Productions, 2011.

Rogers, Lucy. *It's Only Rocket Science: An Introduction in Plain English*. Springer, 2008.

Siddiqi, Asif A. *Challenge to Apollo: The Soviet Union and the Space Race, 1945-1974*, 2000.
Siddiqi, Asif A. *Deep Space Chronicle: A Chronology of Deep Space and Planetary Probes, 1958-2000*. National Aeronautics and Space Administration, Office of External Relations, NASA History Office, 2002.
Siddiqi, Asif A. *Beyond Earth: A Chronicle of Deep Space Exploration, 1958-2016*. National Aeronautics and Space Administration, Office of Communications, NASA History Division, 2018.
Sparrow, Giles. *Spaceflight: The Complete Story from Sputnik to Shuttle and Beyond*. DK Publishing, 2019.
Swinerd, Graham. *How Spacecraft Fly Spaceflight Without Formulae*. Springer New York, 2009.
Turner, Martin J. L. *Rocket and Spacecraft Propulsion: Principles, Practice and New Developments*. Springer Published in Association with Praxis Pub., 2010.
Ulivi, Paolo and Harland, David M. *Robotic Exploration of the Solar System*. Springer Science Business Media, 2015.
Waldman, Ariel and Brian Standeford. *What's It like in Space?: Stories from Astronauts Who've Been There*. Chronicle Books, 2016.

«ARES». NASA. https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/.
«CAB». CAB. https://cab.inta-csic.es/.
«CollectSPACE». CollectSPACE.com, www.collectspace.com/.
«Encyclopedia Astronautica». Encyclopedia Astronautica. http://astronautix.com/.
«Eureka». Daniel Marín - Eureka. http://danielmarin.naukas.com/.
«European Space Agency». European Space Agency. https://www.esa.int/.
«Everyday Astronaut». Everyday Astronaut. https://everydayastronaut.com/.
«Gunter's Space Page». Information on Spaceflight, Launch Vehicles and Satellites. https://space.skyrocket.de/index.html.
«Heavens Above». Heavens Above. https://www.heavens-above.com/.

«InfoSondas». InfoSondas. https://www.infosondas.com/.
Jonathan's Space Report - Latest Issue. https://www.planet4589.org/space/jsr/jsr.html.
«MrGorsky». MrGorsky. https://mrgorsky.es/.
«NASA». NASA. http://www.nasa.gov/.
«NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) - Robotic Space Exploration». NASA. https://www.jpl.nasa.gov/.
«NASA's Mars Exploration Program». NASA. June 03, 2014. https://mars.nasa.gov/.
«NASASpaceFlight.com». NASASpaceFlight.com. https://www.nasaspaceflight.com/.
«New Horizons: Beyond Pluto». New Horizons: Beyond Pluto. http://pluto.jhuapl.edu/.
«NSSDCA». NASA. https://nssdc.gsfc.nasa.gov/.
Orbital Debris - EoPortal Directory - Satellite Missions. https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/orbital-debris.debris.
«Photojournal: NASA's Image Access Home Page». NASA. https://photojournal.jpl.nasa.gov/.
«Promoting Cooperative Solutions for Space Sustainability: Secure World». Promoting Cooperative Solutions for Space Sustainability | Secure World. http://swfound.org/.
«Sondasespaciales.com». Sondasespaciales.com. https://www.sondasespaciales.com/.
«Space Adventures». Space Adventures. May 23, 2021. https://spaceadventures.com/.
«Space.com». Space.com. www.space.com/.
«Space-track.org». Space-Track. http://www.space-track.org/auth/login.
«The Afternoon Constellation - A-Train». NASA. https://atrain.nasa.gov/.
«The Planetary Society». The Planetary Society. https://www.planetary.org/.
«Voyager». NASA. https://voyager.jpl.nasa.gov/.
«World's First Commercial Space Station». Axiom Space. https://www.axiomspace.com/.